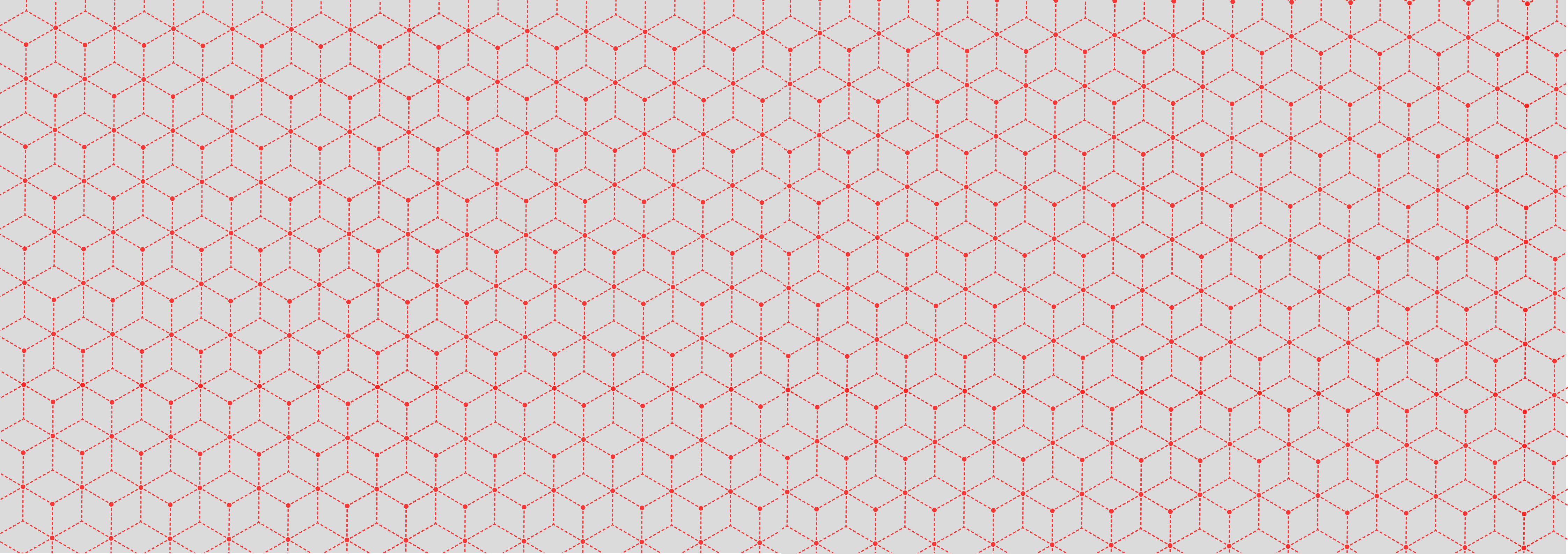




La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: Caso Centro de Documentación Juan Bautista

UNIVERSIDAD DE CUENCA TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE ARQUITECTO
Autores: Sebastián Israel Morocho Arenillas y Maria Elisa Sarmiento Jaramillo / Director: Ing. Hernán Alfredo García Erazo MSc.





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Arquitectura

La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana
altura y la identificación de zonas seguras mediante
análisis modal: Caso Centro de Documentación Juan
Bautista

Trabajo de titulación previo a la obtención de título de Arquitecto

Autores

Sebastián Israel Morocho Arenillas
Maria Elisa Sarmiento Jaramillo

C.I. 0302503222
C.I. 0104422936

israelmorocho0@gmail.com
mesarmientojar@hotmail.com

Director

Ing. Hernán Alfredo García Erazo MSc.

C.I. 0102116654

Cuenca - Ecuador

26 - mayo - 2021



RESUMEN

Con la finalidad de generar un modelo de evaluación de vulnerabilidad sísmica para edificaciones a través del estudio de la configuración estructural y la caracterización material del edificio, se analiza como caso de estudio al edificio del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez, localizado en la ciudad de Cuenca - Ecuador mediante el levantamiento de información de elementos estructurales y la aplicación de un análisis modal.

La aproximación metodológica propuesta para analizar esta edificación integra varias dinámicas: levantamiento arquitectónico, aplicación de ensayos no destructivos, generación de un modelo BIM y un modelo matemático; dichas variables se integran en un solo proceso sistemático para conocer el comportamiento que un edificio presentará ante un sismo. El alto nivel de incertidumbre sobre el rendimiento de edificaciones existentes en la ciudad y su evidente carencia de consideraciones sismorresistentes a nivel de diseño, visibilizan la importancia de la reducción de la vulnerabilidad sísmica, principalmente en edificaciones esenciales, de ocupación masiva y de carácter público para preservar su operatividad y garantizar la seguridad de sus ocupantes.

El estudio observa el comportamiento sísmico y evalúa la vulnerabilidad de la edificación para determinar las zonas de mayor riesgo y determinar mejores condiciones de ocupación de la misma. La aplicación y difusión de esta metodología representa un aporte para la observación de procesos a nivel de análisis estructural y estimación de daños por acciones sísmicas, así como su aplicación a otros entornos.

Palabras clave:
Vulnerabilidad sísmica. Amenaza Sísmica Local. Zonas Seguras. Cuenca.



ABSTRACT

In order to generate a seismic vulnerability assessment model for buildings through the study of the structural configuration and material characterization of the building, the Juan Bautista Vásquez Regional Documentation Center building, located in the city of Cuenca - Ecuador, has been analyzed as a case study through the collection of information on structural elements and the application of a modal analysis.

The methodological approach proposed to analyze this building integrates several dynamics: architectural survey, application of non-destructive testing, generation of a BIM model and a mathematical model; these variables are integrated into a single systematic process to know the behavior that a building will present in an earthquake. The high level of uncertainty about the performance of existing buildings in the city and their evident lack of seismic-resistant considerations at the design level, allows to demonstrate the importance of reducing seismic vulnerability, mainly in essential buildings, of massive occupation and of public character to preserve their operability and guarantee the safety of their occupants.

The study observes the seismic behavior and evaluates the vulnerability of the building to determine the areas of greatest risk and determine better conditions for its occupation. The application and dissemination of this methodology represents a contribution to the observation of processes at the level of structural analysis and damage estimation due to seismic actions, as well as its application to other environments.

Keywords:
Seismic Vulnerability. Local Seismic Hazard. Safety Zones. Cuenca.



Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	13
Objetivos	14
Antecedentes y justificación	17

01 Capítulo Marco teórico

Conceptos generales

1.1 Sismos	22
1.1.1 Historia	22
1.1.2 Teorías contemporáneas	23
1.1.3 Línea de tiempo: Sismología y eventos relevantes	24
1.1.4 Parámetros sísmicos	26
1.2 Riesgo Sísmico	28
1.3 Vulnerabilidad sísmica	30
1.3.1 Antecedentes	30
1.3.2 Generalidades	30
1.3.3 Marco metodológico para realizar un estudio de vulnerabilidad	31
1.3.4 Parámetros de análisis de vulnerabilidad sísmica	32

Contexto local, normativa y diseño sísmico

1.4 Amenaza sísmica local	34
1.4.1 Sismicidad en Ecuador	34
1.4.2 Caso Cuenca	35
1.5 Normativas vigentes y diseño sísmico	37
1.5.1 Antecedentes	37
1.5.2 Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014	38

Ensayos

1.6 Ensayos en Hormigón armado	40
1.6.1 Ensayos no destructivos	40
1.6.2 Ensayos para obtener la resistencia del concreto	42
1.6.2.1 Velocidad de pulso ultrasónico VPU (Ultrasonido)	42
1.6.2.2 Martillo de rebote para ensayos de hormigón (Esclerometría)	43

Análisis Modal y Método de Elementos Finitos

1.7 Análisis Modal	46
1.7.1 Teoría del análisis modal	46
1.7.2 Sistemas y grados de libertad	48
1.7.3 Relaciones y modelos de simulación	50

1.8 Método de elementos finitos	53
1.8.1 Definición	53
1.8.2 Procedimiento general del análisis por elementos finitos aplicados a un software	54

1.9 Aplicación de Software	55
1.9.1 Modelación tridimensional	55
1.9.2 Herramientas BIM	55
1.9.3 Aplicación en software Matlab	56

02 Capítulo

Análisis de Vulnerabilidad Sísmica: Metodología y resultados

Metodología

1 Selección de caso de estudio	62
2 Análisis arquitectónico y estructural	64
2.1 Antecedentes históricos e intervenciones en la edificación	64
2.1.1 Primera edificación año 1964	66
2.1.2 Primera intervención arquitectónica 2000-2004	68
2.1.3 Segunda intervención arquitectónica 2015	70
2.2 Levantamiento y documentación del estado actual de la edificación	73
3 Determinación de resistencia mediante ensayos no destructivos	80
Etapas 1 Identificación de elementos estructurales	80
Etapas 2 Selección de la muestra a someterse a ensayo	80
Etapas 3 Preparación del equipo	81
Etapas 4 Preparación del área de prueba	82
Etapas 5 Procedimiento	82
Etapas 6 Cálculo y reporte de resultados	84

4 Modelación tridimensional e integración de datos	86
Etapas 1 Identificación de elementos estructurales	86
Etapas 2 Discretización de elementos	87
Etapas 3 Revisión y adaptación del modelo	89
Etapas 4 Traslado de sistema 3D o modelo BIM a Software Aplicado al Cálculo de Estructuras	89
5 Simulaciones y resultados obtenidos	94
Etapas 1 Integración y programación de matrices de nodos, elementos,secciones y materiales.	94
Etapas 2 Asignación de cargas	99
Etapas 3 Definición de condiciones de borde y rigidez del sistema	100
Etapas 4 Aplicación de espectro de diseño	102
Etapas 5 Simulación y análisis de resultados	104
Modos de vibración	104
Análisis Espectral	106
Resultados obtenidos	107
Derivas	109
Derivas permisibles y excesivas	112
Discusión	116

03 Capítulo Conclusiones

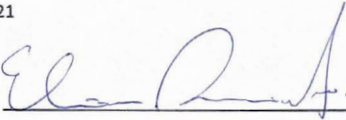
Conclusiones	120
Lineamientos para próximas intervenciones	121
Bibliografía	123
Anexos	130



Cláusula de Propiedad Intelectual

Maria Elisa Sarmiento Jaramillo, autora del trabajo de titulación “La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: caso Centro de Documentación Juan Bautista”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 26 de mayo de 2021



Maria Elisa Sarmiento Jaramillo


C.I: 0104422936



Cláusula de Propiedad Intelectual

Sebastián Israel Morocho Arenillas, autor del trabajo de titulación “La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: caso Centro de Documentación Juan Bautista”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 26 de mayo de 2021



Sebastián Israel Morocho Arenillas

C.I: 0302503222



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Maria Elisa Sarmiento Jaramillo, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: caso Centro de Documentación Juan Bautista”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de mayo de 2021

Maria Elisa Sarmiento Jaramillo

C.I: 0104422936



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Sebastián Israel Morocho Arenillas, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: caso Centro de Documentación Juan Bautista”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de mayo de 2021

Sebastián Israel Morocho Arenillas

C.I: 0302503222



DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres,

Fernando Morocho, pilar fundamental de nuestra familia, quien nos impulsa cada día a seguir adelante, te amo papá.

Enma Arenillas, a ti mi bello ángel, sé que estarás orgullosa de mi, te amo mamá.

A mis hermanos,

Luis Fernando y Sebastián Ismael, que a pesar de todo siempre están ahí, los amo hermanos.

A toda mi familia.

Israel



DEDICATORIA

A María Augusta, Alexandra, Favián, Inés y Francisco, quienes me han permitido continuar y soñar sin límites todo este tiempo.

Sin ustedes nada sería posible.

Elisa



AGRADECIMIENTOS

A nuestro director: Ing. Hernán García Erazo, por apoyarnos y acompañarnos pacientemente durante todo este proceso en medio de tiempos difíciles.

Al personal administrativo del Centro Documental Juan Bautista Vásquez de la Universidad de Cuenca, por toda su paciencia y colaboración, especialmente a:

Lcda. Esthela Durán
Lcda. Ximena Carrasco
Sr. Patricio Dominguez

Al Arq. Xavier Saltos, quien nos otorgó apoyo y asesoría oportuna para continuar con nuestra investigación.

A los docentes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, quienes han sido guía durante nuestro camino.





INTRODUCCIÓN

El último desastre natural registrado en el Ecuador tuvo lugar el 16 de abril de 2016 en la región de la costa ecuatoriana. El sismo de 7.8 en la escala de Richter, con epicentro en Manabí (IGEPN, 2016) representó un acontecimiento catastrófico para las personas que se encontraban en el interior de las edificaciones. El número contabilizado de estructuras que fracasaron durante el evento fué alto y se estima que el movimiento telúrico dejó 18,663 edificaciones afectadas en el área urbana y rural, así también, alrededor de 92 edificaciones de instituciones educativas con alto nivel de afección (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2016).

Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2019) los edificios que sufrieron daños o colapso, por sismos en el país, fueron causados por el inadecuado desempeño sísmico de los componentes no estructurales, en especial de los muros, lo que representa un denominador común que se observó en la infraestructura y fue evidente durante el último sismo del 2016. Por otro lado, la intensa actividad sísmica en el Ecuador debido a sus condiciones geográficas y geológicas sumada a factores como la desconexión del proceso constructivo e in-observación de propuestas estructurales, agravan la problemática de seguridad y eficiencia constructiva de las ciudades.

Frente a la vulnerabilidad y los riesgos existentes en el territorio, la prevencion y mitigación de riesgos sigue ocupando un lugar secundario en Latinoamérica. La evidencia académica muestra que la atención prestada a dichos sucesos dista de ser óptima y la falta de atención a una gestión de riesgos se relaciona directamente con la ausencia de un adecuado sistema conceptual que involucre la implementación de esquemas integrales de prevención de riesgos (Lavell, 2009).

En el contexto nacional, el Plan de Emergencias Institucional elaborado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias en el Ecuador indica que en caso de sismo la institución u organismo involucrado debe conocer el estado general del edificio y su probable comportamiento ante un sismo, ubicando las zonas seguras e inseguras del mismo (SNGR, 2010). Sin embargo, el contenido existente en las normativas y disposiciones actuales en los planes de manejo de gestión de riesgos en el país, evidencian una respuesta deficiente ante potenciales emergencias y desastres a eventos, ya que las mismas no manejan instrucciones o directrices objetivas sobre cómo identificar las potenciales zonas seguras en la edificación.

En el contexto local, Jiménez y otros autores (2018) determinan a Cuenca como una ciudad con alta amenaza sísmica debido a su situación geográfica y según Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2001) está situada en una zona de riesgo sísmico medio. De igual forma para García y Degrande (2017) las edificaciones de la ciudad tienen una alta probabilidad de colapso, especialmente estructuras de mampostería, a esto se suma la falta de datos históricos de los daños estructurales inducidos por sismos, deviniendo en una práctica de construcción que no considera el diseño resistente a terremotos. Así, el alto nivel de incertidumbre sobre el rendimiento del edificaciones existentes en la ciudad y su evidente carencia de consideraciones sismorresistentes a nivel de diseño, visibilizan la importancia de la reducción de la vulnerabilidad sísmica, principalmente en edificaciones esenciales, de ocupación masiva y de carácter público para preservar su operatividad y garantizar la seguridad de sus ocupantes.

El objetivo de la presente investigación es generar un modelo de evaluación de vulnerabilidad sísmica para edificaciones a través del estudio de la configuración estructural y la caracterización material del edificio. Se considera de suma importancia, la aproximación a conceptos y la evaluación de seguridad y desempeño sísmico de edificaciones públicas de uso masivo como esencial, no solo para mantener su funcionalidad sino también para preservar la vida de sus ocupantes en caso de riesgo. Por lo que, la aplicación y difusión de esta metodología representa un aporte para la observación de procesos a nivel de análisis estructural y estimación de daños por acciones sísmicas ; y su aplicación a otros entornos. El trabajo toma como caso de estudio una edificación de la ciudad, el Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez, localizado en el campus central de la Universidad de Cuenca. Mediante el levantamiento de información de elementos estructurales; y la ejecución de simulaciones a través de la integración de un modelo BIM, se observó el comportamiento sísmico y evaluó su vulnerabilidad para finalmente determinar las zonas de menor riesgo para identificar las mejores condiciones de ocupación de la misma.



Figura 1.1 Fotografía documental tomada luego del terremoto que destruyó la costa ecuatoriana el 16 de abril del 2016. Autor: Francisco Alvarado León.



OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad sísmica de una edificación de mediana altura e identificar las zonas seguras de ocupación en caso de sismo.

Objetivos Específicos

- Generar un modelo tridimensional que permita analizar y estimar el comportamiento sísmico de una edificación pública de mediana altura localizada en la ciudad de Cuenca.
- Identificar las zonas seguras en la edificación para generar recomendaciones que puedan ser implementadas en un plan de gestión de riesgos.
- Elaborar un manual para la aplicación de la metodología de análisis orientado a arquitectos y profesionales vinculados.



ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XX hubo un rápido incremento a escala mundial de las pérdidas económicas y de vidas debido a la ocurrencia de desastres naturales (Ayala, Delgadillo & Ferrer, 2017). Entre los años 1970 y 2011, los terremotos y las erupciones volcánicas fueron responsables de 1.078 desastres a nivel mundial de acuerdo con la Base de Datos Internacional sobre Desastres (EM-DAT) emitida por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Las regiones más afectadas y con mayor exposición a los desastres fueron América del Norte y América del Sur, donde ocurrieron el 29% y el 33% de los eventos respectivamente, con un registro de 367 fenómenos geofísicos (sismos y erupciones volcánicas) durante este período. En consecuencia, las áreas más expuestas a estos eventos, son las zonas costeras del Pacífico en Centroamérica, México y América del Sur.

La posición geográfica del Ecuador somete al territorio a múltiples amenazas naturales, principalmente de origen geológico e hidrometeorológico, que cada cierto tiempo afectan a la población y su infraestructura. De todas las mencionadas, las amenazas que mayor impacto socioeconómico han causado son las inundaciones, los eventos volcánicos, los movimientos de masas o deslizamientos y los movimientos sísmicos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014).

La intensa actividad sísmica de la zona está causada principalmente por la localización del Ecuador en el cinturón de fuego del océano pacífico, la subducción de la placa oceánica de Nazca y la presencia de un complejo sistema de fallas activas locales (Parra et al., 2018). El Cinturón de Fuego del Pacífico libera aproximadamente el ochenta por ciento de la energía sísmica generada por el planeta, y se caracteriza por ser el sitio de origen de terremotos de gran intensidad.

La acción geodinámica está relacionada con los cambios geológicos continuos del planeta desde su conformación hace millones de años (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014). A nivel nacional existen varios eventos sísmicos registrados de gran magnitud. El movimiento telúrico catalogado como el más catastrófico de la historia tuvo lugar en la costa del país, en el año 1906 con una magnitud de 8.8 en la escala de Richter.

Han existido otros eventos superficiales y que, de la misma manera, han ocasionado pérdidas humanas y materiales, debido a que sus epicentros han sido localizados en grandes ciudades del país. La sismicidad histórica del Ecuador evidenciada por el Instituto Geofísico del Ecuador mediante la integración de diversos catálogos de sismos registrados desde el año 1541 hasta el 2017, demuestra la localización de los epicentros de estos eventos (Fig. 1.2).



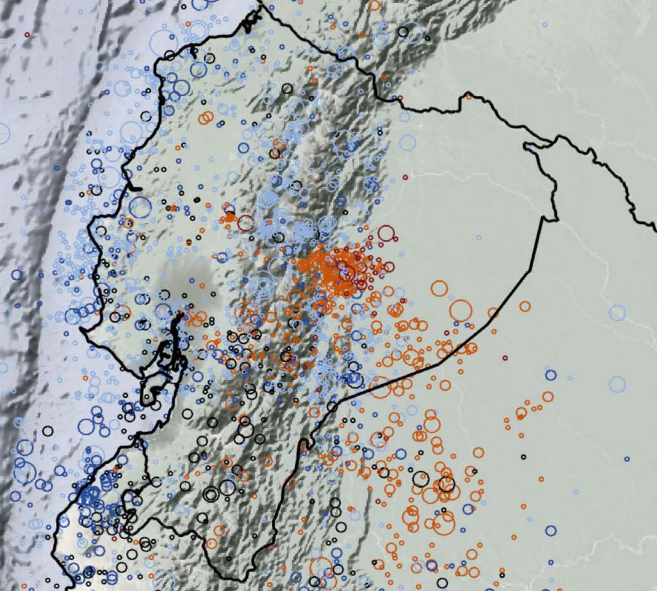
La distribución de los puntos testifica que todo el territorio está expuesto a este tipo de fenómenos, definiendo al Ecuador como un país activo sísmicamente, con movimientos telúricos destructivos ocurriendo a lo largo de la zona de subducción y la parte central (Beauval et al., 2013). A nivel local, la sismicidad histórica de Cuenca fue recopilada en el catálogo de la Red Sísmica del Austro en dónde se evidencia la ocurrencia de diversos sismos importantes.

Se identifica a Cuenca como una ciudad con alta amenaza sísmica debido a su situación geográfica, ya que se encuentra emplazada sobre la falla geológica de Girón, que constituye una fuente sismológica crítica de afectación para el sitio (Jiménez et al. 2018). Según la normativa NEC (2011) la ciudad de Cuenca se sitúa en una zona de riesgo sísmico medio (PGA 1 en roca de 0.25 g).

El estudio realizado por García y Degrande (2017, p. 105) en edificaciones de la ciudad de Cuenca, concluye que: existe una alta probabilidad de colapso para estructuras de mampostería con ladrillos huecos, sometidas a movimientos de tierra con PGA que van desde 0.25 g a 0.30 g; y que la falta de datos históricos de los daños estructurales inducidos por sismos, resultaron en una práctica de construcción sin mucha consideración del diseño resistente a terremotos.

El alto nivel de incertidumbre sobre el rendimiento del edificaciones existentes en la ciudad y su evidente carencia de consideraciones sismorresistentes a nivel de diseño, visibilizan la importancia de la reducción de la vulnerabilidad sísmica, principalmente en edificaciones esenciales, de ocupación masiva y de carácter público para preservar su operatividad y garantizar la seguridad de sus ocupantes.

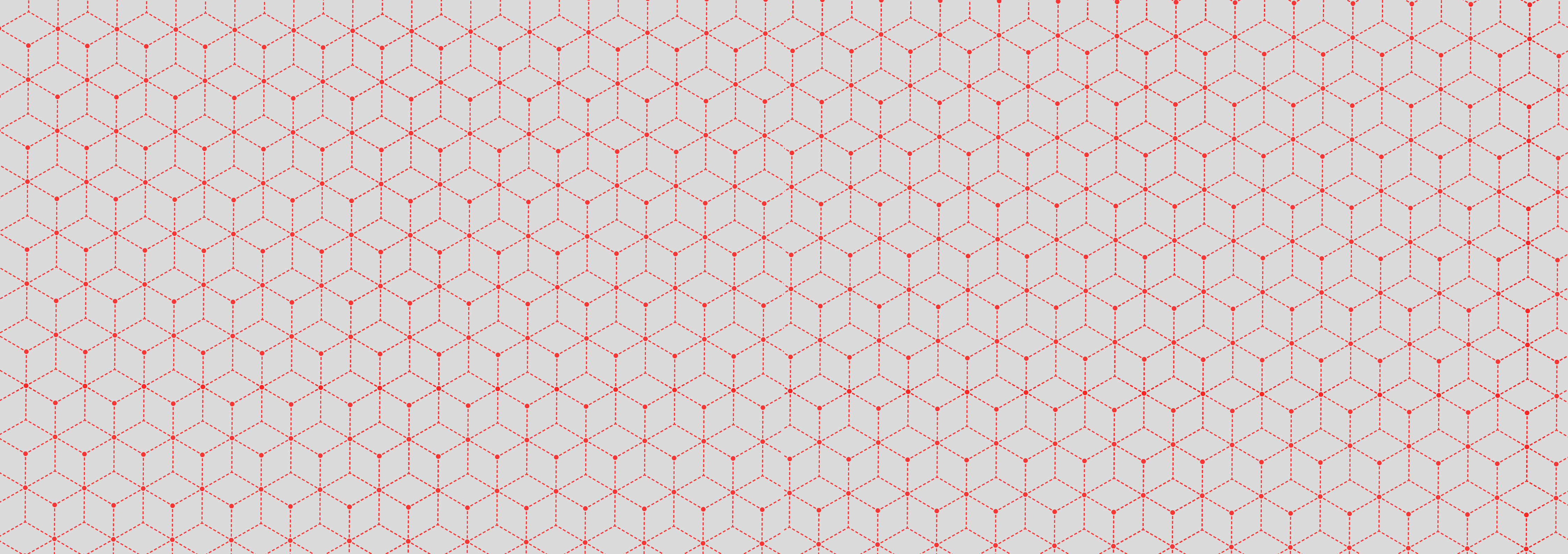
En consecuencia, esta investigación busca evaluar el comportamiento estructural del Centro de Documentación Regional “Juan Bautista Vásquez”, para entender su comportamiento dinámico mediante la aplicación de métodos numéricos y simulaciones digitales. Al analizar dicho comportamiento, se determinará el grado de vulnerabilidad de la estructura para establecer las zonas de menor riesgo que permitirán mejorar las condiciones de ocupación.



Representación gráfica

Magnitud	Profundidad
• 3,9 < mag < 4,8	0 < depth < 35,0
○ 4,9 < mag < 5,8	35,0 < depth < 60,0
○ 5,9 < mag < 6,8	60,0 < depth < 100,0
○ 6,9 < mag < 7,8	100,0 < depth < 200,0
○ 7,9 > mag	depth > 200,0

Figura 1.2 Distribución de los 2910 terremotos en Ecuador del catálogo BSSA2013. Elaborado por Beauval et al. (2013a, p. 781). Adaptación de contenido realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



*«La conclusión es que sabemos muy poco y sin embargo
es asombroso lo mucho que conocemos. Y más asombroso
todavía que un conocimiento tan pequeño pueda dar tanto
poder.»*

Bertrand Russell



1 CONCEPTOS GENERALES

1.1 SISMOS

La etimología de la palabra “sismo” proviene de una derivación del griego “seismós” que significa temblor de tierra. Se define como un movimiento vibratorio del suelo, ocasionado por la ruptura súbita del equilibrio elástico de una región al interior de la tierra (Rodríguez, 1992), que modifica el estado de reposo relativo de los cuerpos que se apoyan directamente sobre él (De la Colina & Ramírez de Alba, 1999). Al generarse un sismo, la energía se libera en forma de ondas sísmicas, propagadas al interior del planeta y distribuidas por distintas trayectorias hasta llegar a la superficie (CENEPRED, 2017).

1.1.1 Historia

Desde la antigüedad, el fenómeno sísmico y la ocurrencia de terremotos representó un enigma relevante para el hombre, motivo por el cual, se ha buscado explicar de manera científica el origen de los sismos. El inicio de las primeras especulaciones remonta su origen a la antigua Grecia, 365 a.C. (Aulinas et al., 2018), con la intervención de filósofos como Aristóteles y Séneca. Las primeras hipótesis de aproximación hacia el comportamiento de los sismos se modificaron y alteraron constantemente debido al avance científico.

Con el tiempo, se generaron mayores aproximaciones al entendimiento de este fenómeno. En el año 1705 Robert Hooke propone, por primera vez, la idea de que los terremotos representaban una reacción elástica a un fenómeno de generación de esfuerzos (fuerzas tectónicas). Posteriormente, diversos sismos de carácter destructivo fueron claves para generar nuevas discusiones científicas sobre el tema (Aulinas et al., 2018). Se puede mencionar, como ejemplo, al sismo ocurrido en Lisboa en el año 1755, el cual fue estudiado en época de la Ilustración europea. Tras el sismo de 1855 en Nueva Zelanda, el geólogo Charles Lyell realiza una de las primeras descripciones sobre el tema, relacionando a los sismos con fenómenos producidos por fallas geológicas.

El terremoto de Owens Valley en el año 1872 fue otro evento catastrófico que sirvió como elemento de observaciones para estudios y análisis. En el año 1884, G.K. Gilber evidencia la primera conexión clara entre los terremotos, las fallas y los procesos tectónicos, al analizar los efectos de este sismo en la zona de ruptura de la Falla de San Andrés (Giner & Molina, 2001). A partir del siglo XX se acepta la teoría de los sismos como consecuencia de la deformación de la corteza terrestre (teoría de las placas tectónicas) y las fallas su manifestación directa en la superficie.

1.1.2 Teorías contemporáneas

En el año 1911 Reid propone la “teoría del rebote elástico”. Este manifiesto se desarrolló a partir del sismo de San Francisco en el año 1906 (Fig. 1.3), donde se pudo trazar una cartografía de la superficie de la falla de San Andrés. Según esta teoría, los terremotos ocurren en regiones sujetas a deformación debida a causas externas, que son esfuerzos tectónicos provocados por el movimiento de placas litosféricas. Al momento que los esfuerzos se acumulan en un sitio determinado, y superan la resistencia de la roca, se produce una fracturación o desplazamiento en zonas de debilidad preexistentes (Posadas & Vidal, 1994).

La teoría de la tectónica de placas publicada por Alfred Lothar Wegener en 1915 fue desarrollada a partir de diversas hipótesis basadas en observaciones empírico-racionales y estudios. Plantea que, durante el final del periodo Paleozoico y el principio del periodo Mesozoico, las masas de tierra estaban unidas originalmente en un sólo supercontinente que llamó “Pangea”, definición que proviene del griego y significa “toda la tierra”. Sustentado en diversas pruebas, afirmó que en la geografía de la tierra existe un ajuste de los litorales continentales, es decir, que existe una estrecha semejanza entre los continentes y su morfología, evidenciada en reconstrucciones posteriores.

En la actualidad, la teoría tectónica de placas, junto con la teoría de la expansión del fondo oceánico, originada en el año 1960 a partir de las investigaciones de Robert Dietz, Bruce Heezen, Marie Tharp, comprobaron la teoría fundamentada por Wegener. Posteriormente en el año 1978, una representación realizada por Seiya Uyeda en su libro “La nueva concepción de la Tierra” evidencia las siete grandes placas de la tierra: Euroasiática, Africana, Indoaustraliana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica y las siete placas medianas: Árabe, Caribeña, Coco, Nazca, Juan de Fuca, Scotia y Filipina.

La integración de estas teorías, fundamentadas en dichos estudios, permitieron ofrecer una explicación global e integradora de los procesos geológicos que ocurren en la Tierra a lo largo de millones de años. Sin embargo, la existencia de estudios recientes sobre geología y geodesia, han revelado nuevos hallazgos. Día a día la comunidad científica presenta, de manera inmediata, nuevos datos geológicos, geofísicos y conceptuales al cuerpo de doctrina de las Ciencias de la Tierra, por lo tanto, esta información debe ser considerada para mayor entendimiento del tema.

Figura 1.3 Vista aérea de la ciudad de San Francisco cinco semanas después del terremoto del 18 de abril de 1906. Fotografía tomada por Lawrence (1906).



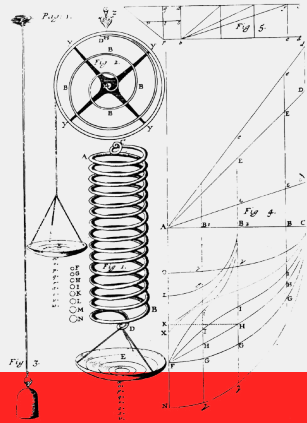


HISTORIA SISMOLOGÍA Y EVENTOS RELEVANTES

28

Primeras hipótesis sobre el comportamiento sísmico: se plantea que en el centro de la tierra existe un fuego permanente que genera gases o exhalaciones que al desplazarse, provocan los temblores.

Aristóteles
ANTIGUA GRECIA



365 a.C.
1705

SIGLO XVIII
Robert Hooke

Aproximación a los fundamentos físicos de la sismología: La ley de Hooke plantea la relación tensión - deformación. Los terremotos son una reacción elástica a la generación de esfuerzos.



Figura 1.4 Ruinas del templo de Apolo en Figalia, antigua región de Arcadia, Grecia. Fotografía tomada del archivo de American School of Classical Studies at Athens.

Figura 1.5 Ilustración de la ley de elasticidad de los materiales de Hooke, que muestra el estiramiento de un resorte en proporción a la fuerza aplicada, de Lectures de Potentia Restitutiva de Robert Hooke (1678).

Los efectos geológicos del terremoto de 1855 en Wairarapa, Nueva Zelanda, con una magnitud estimada de Mw 8.2 proporcionaron a Charles Lyell evidencia directa del comportamiento de los sismos.

Nueva Zelanda
TERREMOTO

1855



Figura 1.6 Fotografía documental: primer reconocimiento de la falla activa posterior al terremoto de 1855 en Nueva Zelanda.



TERREMOTO
Owens Valley - California

Producto de los estudios y análisis realizados por G.K. Gilber, el terremoto ocurrido evidencia la conexión entre los sismos y procesos tectónicos debido a la formación de la Falla de San Andrés.

Figura 1.7 Fotografía documental: vista aérea de la Falla de San Andrés, Planicie Carrizo, Condado de San Luis Obispo, California.

Primer modelo mecánico que explica el comportamiento de sismos de foco superficial. La energía acumulada se libera súbitamente cuando se excede la capacidad de resistencia de los materiales.

El Rebote Elástico - H.F. Reid
TEORÍA

1872

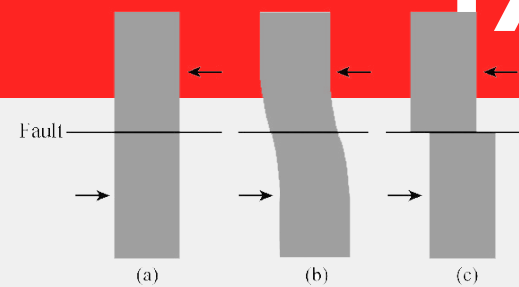
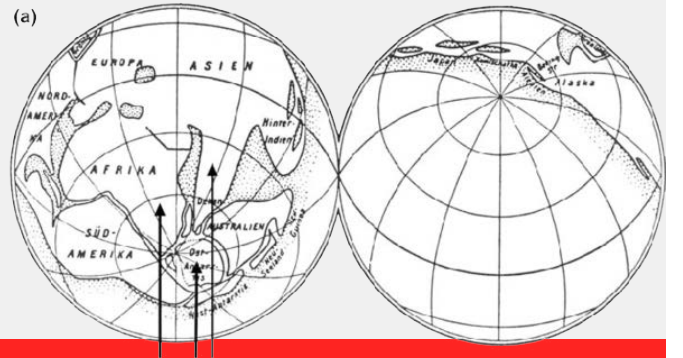


Figura 1.8 Ilustración de la hipótesis del rebote elástico. La hipótesis fue propuesta en base al movimiento horizontal de la Falla de San Andrés por Reid (1910) cuando estudiaba el terremoto de San Francisco de 1906.



TECTÓNICA DE PLACAS
y la teoría de expansión del fondo oceánico

La integración de estas teorías, en conjunto con nuevas aportaciones científicas como las investigaciones de Dietz, Tharp y Uyeda, permiten presentar una perspectiva integradora de los diversos procesos geológicos que ocurren en la Tierra.

Figura 1.9 Teoría de la deriva continental propuesta por Alfred Wegener. Su reconstrucción clásica de la antigua Tierra muestra a todas las masas de tierra unidas en el hipotético protocontinente Pangea (adaptado de Wegener 1929).

29

30 1.1.4 Parámetros sísmicos

Foco

Se denomina foco sísmico al lugar, espacio y tiempo en el cual se reúne la energía y se propaga en forma de ondas sísmicas. Sus características pueden ser identificadas a partir de instrumental conjunto integrado por un sismómetro redes sismológicas que registran en una o varias estaciones las ondas producidas. Los parámetros que determinan el foco puntual de un sismo son:

Las coordenadas geográficas: Latitud y longitud relacionadas a un punto en la superficie o epicentro. La profundidad: La distancia hacia el interior de la tierra a partir del epicentro. La profundidad más el epicentro, determinan el hipocentro (Fig. 1.11). El tiempo u hora origen: El momento a partir del cual inicia la liberación de energía en forma de ondas sísmicas. Representa la hora en la que comienza la ruptura y se expresa en tiempo universal (Coordinated Universal Time) o UCT.

Epicentro

Es la proyección vertical del hipocentro en la superficie terrestre. Se representa en coordenadas geográficas o coordenadas UTM.

Magnitud

Representa la energía liberada en el hipocentro. Existen diversas escalas de magnitud que han sido formuladas a lo largo del tiempo. Las más empleadas son las mencionadas a continuación:

ML (Escala de Richter)

Parámetro de magnitud propuesto en 1935 por Richter. Se determina en función de la amplitud máxima de las ondas sísmicas registradas (Fig. 1.10) por un sismógrafo Wood-Anderson ubicado a 100 kilómetros de distancia del epicentro. Por limitaciones intrínsecas al tipo de datos sismológicos y por su respuesta a características particulares del terreno, se sugiere emplear otras escalas más complejas como la de Magnitud de momento M_w .

Mw (Escala sismológica de magnitud de momento)

Escala logarítmica que se calcula a partir del momento sísmico y se basa en la medición de la energía total liberada a partir del sismo. Parámetro que relaciona las dimensiones de la fuente sísmica: rigidez del medio donde se produce el movimiento, área de dislocación y desplazamiento medio.

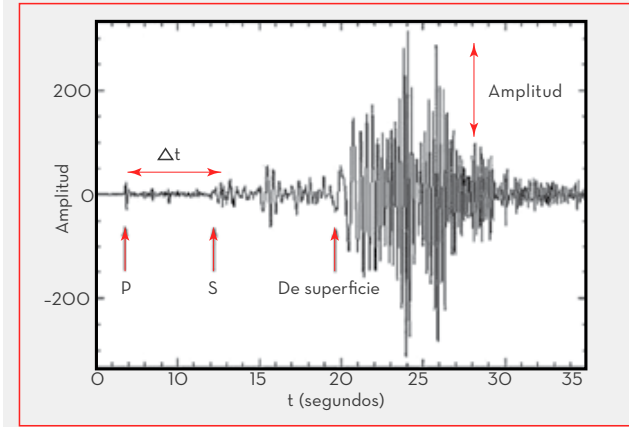


Figura 1.10 Sismograma moderno. Visualización de la escala sismológica de Richter. Se observan las ondas *P*, *S* y *De superficie*. Las ondas de superficie tienen mayor amplitud que las demás. Ezquivel (2018). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

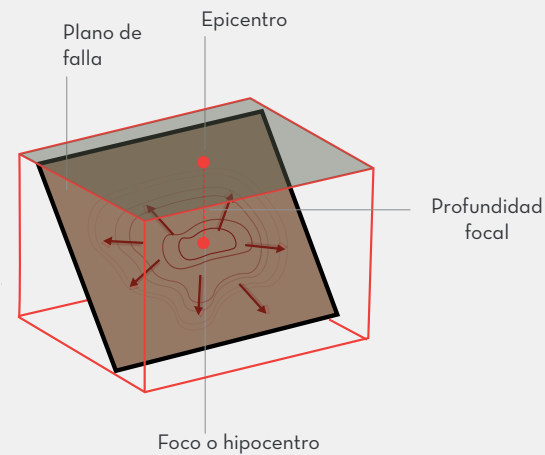


Figura 1.11 Diagrama del foco puntual de un sismo. Vista de un sismo en plano de falla. La energía sísmica en forma de ondas se irradia a partir del foco o hipocentro aleatoriamente. Llanos & Vidal (2003). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

Período

El período o periodo fundamental estructural según la NEC (2014), se define como el tiempo en el que una estructura da un ciclo completo al experimentar una vibración no forzada.

El conocimiento del valor del período es necesario para determinar cuál será su respuesta ante los movimientos sísmicos que puedan presentarse (Domínguez, 2014, p. 9) ya que de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentara la estructura. El periodo está en función de la masa y rigidez de la edificación.

Período de retorno

El periodo de retorno de cualquier evento extremo como lluvias, huracanes o eventos sísmicos, se define como el lapso o número de años que en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, la frecuencia con la que se presenta un evento (Mélce y Reason, 2007). Es un tiempo medio entre sucesos independientes y nos permite cuantificar la probabilidad del evento en relación a un intervalo de tiempo, por ejemplo: si el evento se supera una vez cada 100 años, la probabilidad de dicho suceso será de 1/100.

Espectro de respuesta

El espectro de respuesta es una gráfica que representa el valor máximo de respuesta que experimentaría un sistema de un grado de libertad en función de su periodo natural para un amortiguamiento determinado como consecuencia de un movimiento sísmico en el terreno (Desena, 2016). Estas máximas respuestas que gobiernan el diseño, pueden ser expresadas en parámetros como velocidad, desplazamiento, aceleración entre otros (Crisafulli, 2002); el espectro de respuesta es de gran utilidad para el análisis estructural bajo diferentes acciones dinámicas (Fig. 1.12).

Valores de aceleración pico (PGA)

La aceleración pico o aceleración máxima en el suelo (PGA-Peak Ground Acceleration) es igual a la aceleración máxima en el suelo que ocurre durante un movimiento sísmico en una determinada ubicación. Constituye una medida de la fuerza de inercia que ofrece la estructura al movimiento y en consecuencia, de su capacidad de daño. La aceleración pico del movimiento determina el límite de alta frecuencia del espectro sísmico (Benito & Cabañas, 1999).

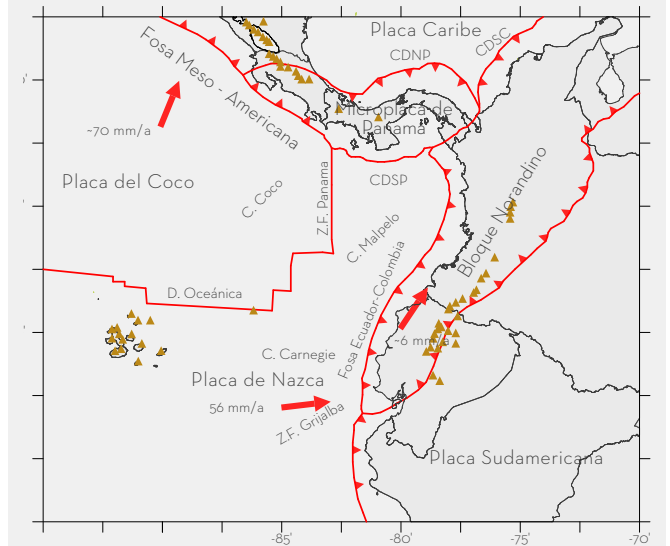


Figura 1.12 Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta Crisafulli (2002). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



1.2 RIESGO SÍSMICO

Se denomina riesgo sísmico a la probabilidad de suceso, en un tiempo y lugar determinado, de un sismo que causa un efecto definido de daños y pérdidas determinados.

En el año 1980 la UNESCO propuso una ecuación que sintetiza los aspectos de la problemática del riesgo sísmico, integrando tres variables:

1. La peligrosidad sísmica
2. La vulnerabilidad de las construcciones
3. Las pérdidas posibles (económicas)

riesgo sísmico = peligrosidad* vulnerabilidad* costo

1. La peligrosidad sísmica

Se define como la probabilidad de excedencia del valor que determina la intensidad del movimiento del suelo, producida por sismos, en un sitio y período de tiempo determinado. Para determinar la peligrosidad sísmica, se debe considerar tres factores esenciales: la radiación generada en la fuente (fallas activas y zonas sísmicas), la propagación (trayecto de la energía liberada) y el efecto local del suelo (condiciones geológicas y topográficas).

2. La vulnerabilidad

Se define como el grado de afectación o pérdida aplicada a un elemento o conjunto de elementos expuestos a riesgos por la ocurrencia de fenómenos naturales de determinada magnitud.

3. El costo o pérdida económica

Se refiere al valor monetario que representa la sustitución o restauración de los elementos afectados posterior a la ocurrencia de la catástrofe.

En la historia, los eventos catastróficos de gran magnitud (Fig. 1.13), han sido los detonantes para el estudio y ejecución de regulaciones que priorizan la mitigación del riesgo sísmico, a través de normativas o inserción de leyes que se apliquen en la construcción de edificaciones.

La evaluación del riesgo sísmico es pertinente ante el progresivo desarrollo socioeconómico de las ciudades, las cuales requieren atención a nivel de planificación territorial y urbanística con el objetivo de disminuir los efectos de los riesgos naturales a los cuales están sometidos (Giner & Molina, 2001).



Figura 1.13 Fotografía del terremoto ocurrido en Japón en el año 2011, uno de los eventos sísmicos más catastróficos y de mayor magnitud de la historia. Fotografía tomada del registro de University Network for Climate and Ecosystems Change Adaptation Research in Asia (UN-CECAR).



1.3 VULNERABILIDAD SÍSMICA

1.3.1 Antecedentes

Es necesario estudiar a la vulnerabilidad sísmica como un factor de exposición y susceptibilidad a nivel territorial por su dinamismo y complejidad. Esta noción hace referencia a la presencia de eventos externos como condicionantes que detonan la vulnerabilidad en una zona determinada, es decir, a pesar de las condiciones intrínsecas de desarrollo de un territorio, al existir una exposición a sucesos externos de riesgo, puede haber consecuencias y pérdidas potenciales (SGR, 2014).

Los eventos sísmicos y sus impactos pueden poner en evidencia las debilidades de un territorio, amplificarlas y generar nuevas consecuencias de vulnerabilidad. Por esta razón, al comprender las debilidades de un territorio, es posible generar procesos de gestión de riesgos, que disminuyan la vulnerabilidad mediante acciones correctivas o de respuesta.

La importancia de la vulnerabilidad en la reducción del riesgo a desastres se puede abordar como un tema técnico y científico en la comprensión de escenarios de riesgo. Las acciones de mitigación de riesgos se basan en el conocimiento de las amenazas, integrando programas de alerta temprana en la coordinación institucional del territorio a través de capacitación y difusión (SGR, 2014).

1.3.2 Generalidades

El informe realizado por la UNDRO (Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator - Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre) en el año 1979, incluye la definición de vulnerabilidad como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso o catastrófico, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

En el contexto de la sismicidad, se puede definir a la vulnerabilidad sísmica como una propiedad intrínseca de la estructura o grupo de elementos expuestos a sufrir daños por un sismo (Safina, 2003). Existen términos genéricos contenidos en la definición de vulnerabilidad sísmica, los cuales complementan la interpretación y el entendimiento del concepto:

1. La afectación
2. El daño

1. La afectación: Se define como el nivel de alteración funcional que puede experimentar una estructura o edificación y está directamente relacionada con la vulnerabilidad funcional.

2. El daño: Se refiere al desgaste físico que pueden sufrir diversos elementos de la edificación. El daño sísmico puede analizarse cualitativamente y cuantitativamente. Desde el aspecto cuantitativo, se evalúa en una escala de 0 o sin daño a 1 o pérdida total y se denomina grado de daño (Yépez, 1996). Desde el aspecto cualitativo, el daño puede ser de dos tipos: estructural y no estructural y están relacionadas directamente con la vulnerabilidad estructural y no estructural.

Según la caracterización y el uso del edificio, cada tipo de vulnerabilidad posee una importancia relativa. Existen edificaciones de uso masivo, en las cuales se priorizará la prevención de la pérdida de vidas humanas asociadas al colapso de sus elementos, y por lo tanto se considera determinante analizar la vulnerabilidad estructural.

En otros casos se prioriza la necesidad de mantener el funcionamiento integral de la edificación, ya que sus instalaciones son vitales para afrontar emergencias o solventar atención en caso de catástrofes, como es el caso de los hospitales, en donde prevalece el análisis de la vulnerabilidad funcional de la edificación.

1.3.3 Marco metodológico para realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica

El alcance del estudio de la vulnerabilidad sísmica se determina en correspondencia al tipo de daño que se requiere evaluar y la magnitud de amenaza existente en el territorio. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica se encuentra asociada directamente al daño sísmico, los cuales dependen de la acción sísmica y la capacidad o comportamiento sismorresistente de la estructura (Safina, 2003).

Las características del elemento de estudio y la escala del análisis son determinantes al momento de aplicar una metodología para estudiar la vulnerabilidad sísmica. Al analizar edificaciones o elementos particulares se emplean evaluaciones deterministas de vulnerabilidad, mientras que, al cambiar la escala y analizar territorios o varios elementos, se utilizan enfoques probabilistas que permiten la aplicación del modelo a diferentes escalas.

El análisis de la vulnerabilidad sísmica de un edificio debe considerar a los elementos estructurales y no estructurales para determinar el nivel de afección. La evaluación integral del edificio permite entender su comportamiento y la respuesta ante las fuerzas dadas, a partir de datos y propiedades existentes de materiales, cargas e interacción de sus elementos compositivos.

Las metodologías existentes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación responden a necesidades y particularidades diferentes, por lo tanto, se han clasificado en 3 grandes grupos:

1. Métodos cualitativos
2. Métodos experimentales
3. Métodos analíticos

El método cualitativo evalúa y cuantifica el riesgo sísmico masivamente y por zonas (mapa de escenario sísmico).

El método experimental provee de resultados genéricos y con grado de incertidumbre elevado. Se integran las características del sismo, terreno de cimentación, configuración estructural y daños.

El método analítico se emplea para realizar una evaluación en detalle. Se analiza la vulnerabilidad de la estructura en función de los sismos de diferente orden de magnitud. Entre los más empleados se encuentran los métodos norteamericanos como el ATC-21 y el FEMA 310.



36 **Método FEMA 310 (ATC-22)**

En el marco de desarrollo de esta investigación se selecciona al método ATC 22 como metodología de referencia, al identificarse como el proceso más integral e idóneo para alcanzar los objetivos establecidos. El manual denominado FEMA 310 es presentado por el ASCE (American Society of Civil Engineers) en el año 1998. Este documento proporciona un proceso de tres niveles para evaluación sísmica de edificios existentes en cualquier región de sismicidad. Los edificios se evalúan según la seguridad para la vida humana o el nivel de desempeño de ocupación inmediata (Vizconde, 2004).

Una parte importante de este documento se dedica a instruir al profesional evaluador del diseño sobre cómo determinar si un edificio está diseñado y construido adecuadamente para resistir las fuerzas sísmicas. Todos los aspectos del rendimiento del edificio se consideran y definen en términos de estructura, problemas no estructurales y de cimentación o peligro geológico.

Este documento describe completamente todo el procedimiento y metodología para la evaluación sísmica y no integra medidas de mitigación o prevención de riesgos, en el marco de la obtención de los resultados del estudio ejecutado.

1.3.4 Parámetros de análisis de vulnerabilidad sísmica

El proceso de evaluación consta de tres niveles:

- **Fase de selección (Nivel 1)**
Consta de 3 conjuntos de listas de verificación que permiten una evaluación rápida estructural, no estructural y de cimentación o geológicas. Se identifican los elementos de peligro del edificio y condiciones del sitio.
- **Fase de evaluación (Nivel 2)**
Son métodos de análisis lineal simplificados y está destinados a identificar edificios que no requiere rehabilitación.
- **Fase de Evaluación Detallada (Nivel 3)**
Se presenta como un informe final que sirve para comunicar los resultados a la entidad propietaria y registrar el proceso y los supuestos utilizados para completar la evaluación. Cada sección debe escribirse cuidadosamente de una manera que sea comprensible para su público objetivo. El grado del informe final puede variar según el objeto de estudio y debe incluir los siguientes elementos:

1) Alcance e intención: identificar la categoría y el nivel de investigación realizada.

2) Sitio y datos de construcción:

- 2.1 Descripción general del edificio (niveles y dimensiones)
- 2.2 Descripción del sistema estructural (pórticos y estructura general, sistema de resistencia de carga lateral, piso y construcción de diafragma de techo, sótano, y sistema de cimientos)
- 2.3 Descripción de elementos no estructurales (elementos que podrían interactuar con la estructura y afectar rendimiento sísmico)
- 2.4 Tipo de construcción
- 2.5 Nivel de desempeño
- 2.6 Región de sismicidad
- 2.7 Tipo de suelo
- 2.8 Ocupación del edificio
- 2.9 Significado histórico

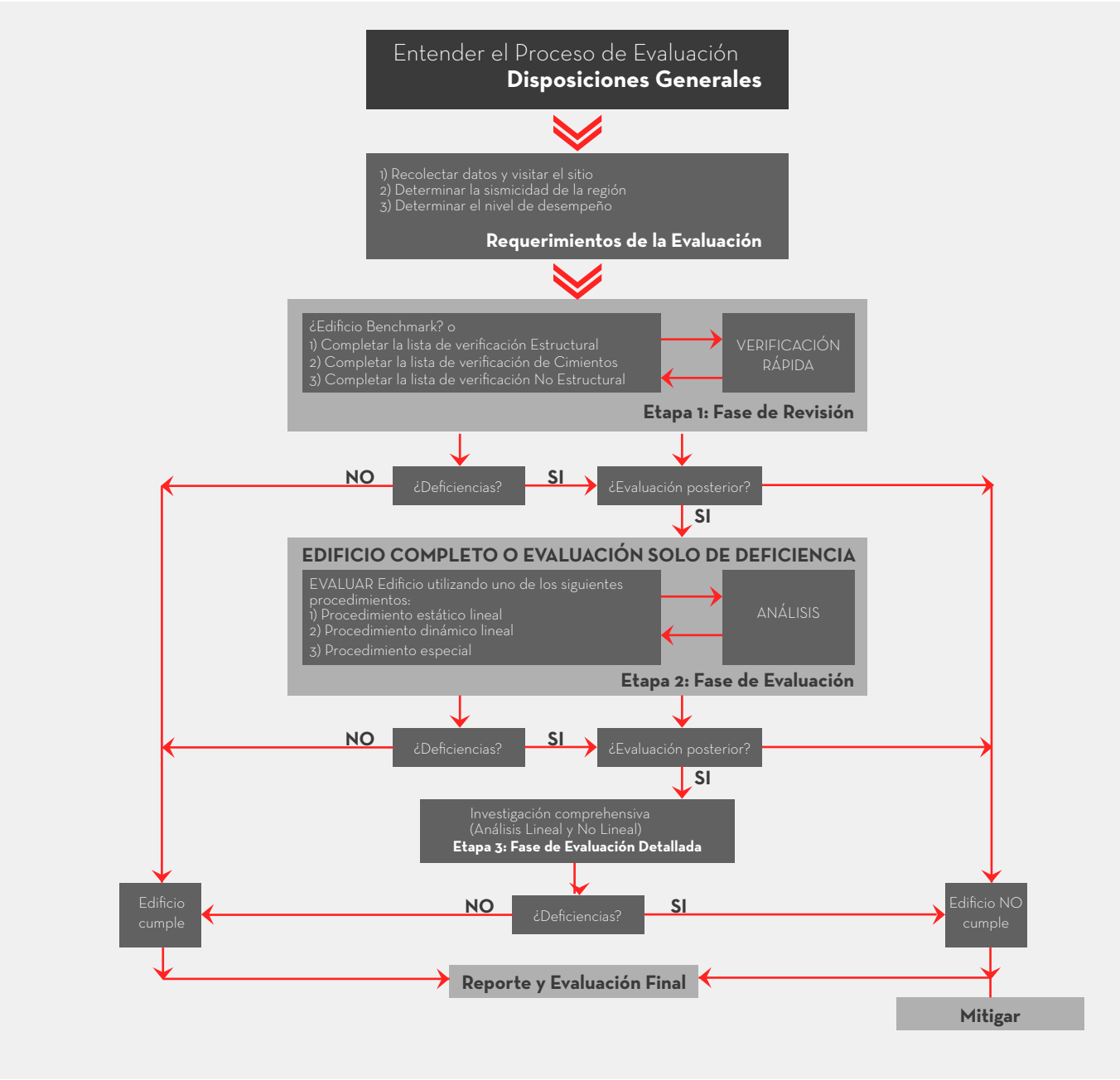
3) Lista de supuestos: propiedades del material, condiciones del suelo del sitio.

4) Resultados: lista de deficiencias.

5) Recomendaciones: esquemas de mitigación o evaluación adicional.

6) Apéndice: referencias preliminares.

Figura 1.14 Esquema resumen del Proceso de Evaluación Sísmica FEMA 310 según el Manual para Evaluación Sísmica de Edificaciones según la ASCE (The American Society of Civil Engineers). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).





1.4 AMENAZA SÍSMICA LOCAL

1.4.1 Sismicidad en Ecuador

El Ecuador se encuentra posicionado geográficamente en la zona denominada “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Se define como una zona de subducción, donde convergen la placa Oceánica Nazca y la placa Continental Sudamericana. La interacción entre placas tectónicas permite la acumulación de esfuerzos en la zona de contacto, por lo tanto, este fenómeno es el responsable de la actividad sísmica y volcánica en el Ecuador (Viracucha & De la Bastida, 2014). Según la USGS (United States Geological Survey) el Cinturón de Fuego del Pacífico o el Anillo de Fuego es una zona altamente sísmica ya que alrededor del 90% de los terremotos del mundo ocurren en este sitio.

El territorio nacional se encuentra localizado dentro de una microplaca tectónica denominada “Bloque Andino”. En un estudio determinado por Pennington (1981) se determinó que la zona andina del norte constituye un bloque cortical separado, es decir, una placa más pequeña que se comprime y empuja hacia abajo y por el este la placa Sudamericana y la de Nazca por el oeste. Adicionalmente, en el sur del Ecuador, existe interacción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, lo cual ha generado desplazamientos de subducción en tres inclinaciones distintas (Taípe, 2013).

El comportamiento geológico de la región y sus características generaron un sistema de fallas, el Sistema Mayor Dextral, el cual se concentra mayormente en la región de la Sierra Ecuatoriana. Según Quinde y Reinoso (2016) la dinámica de placas existente, el sistema de fallas geológicas en el territorio nacional y la subducción en la región Costa, se consolidan como las principales fuentes generadoras de sismos. Los principales sismos ocurridos en el país y su evidente peligro sísmico proviene de dos tipos de fuentes: subducción (interplaca e intraplaca) y corticales (superficiales). En estas fuentes existe un proceso de acumulación y liberación de energía independiente.

- **Los sismos interplaca** que ocurren en una profundidad menor a 40 kilómetros, son ocasionados por la fricción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana.
- **Los sismos intraplaca** que ocurren a una profundidad entre 40 y 300 kilómetros, de profundidad intermedia y están localizados dentro de la placa de Nazca que se encuentra bajo la placa Sudamericana.
- **Los sismos corticales** que ocurren a una profundidad menor a 40 kilómetros, suceden en la placa Sudamericana.

Fallas geológicas

Las fallas en la región ecuatoriana son producto de la interacción entre las placas Nazca y Sudamericana, y se definen como fracturas en las rocas por efecto de las fuerzas a las que está sometida la corteza terrestre. Existen 3 sistemas de fallas que se han agrupado según la similitud de sus características en geometría, extensión y tipo de movimiento: el Pallatanga-Chingual, el Callejón Interandino y el Sistema de fallas inversas de Quito. Los últimos dos sistemas de fallas mencionados, están relacionados con el empuje del bloque Norandino al norte del golfo de Guayaquil, mientras que en el sur del país, las fallas activas están relacionadas con el empuje de la placa Continental sobre la placa de Nazca (Fig. 1.15).

Según Eguez & Guarderas (2018) el riesgo sísmico en el sur del Ecuador está relacionado con los sismos de la zona de subducción y con el potencial fracturamiento en la corteza superior. En la zona de los Andes del Ecuador las evidencias geológicas y geomorfológicas del territorio definen un potencial sísmico en las fallas de la región. En el proyecto P-BID 400: Amenaza sísmica en el Austro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en la Ciudad de Cuenca, se determinó que la falla geológica de Girón, posee un potencial sísmico que se identifica como una fuente crítica para la ciudad de Cuenca (Jiménez, 2002).

1.4.2 Caso Cuenca

La ciudad de Cuenca, capital del Azuay, está localizada en la zona centro-sur del Ecuador. La sismicidad de la ciudad ha sido recopilada en un catálogo elaborado por la Red Sísmica del Austro (RSA) una red de investigación y estudios de monitoreo constante en la zona. En el marco de sus investigaciones, se destaca que en la ciudad no han existido sismos destructores en los últimos cien años, sin embargo, existen diversos eventos sísmicos que considerar, entre ellos:

- El sismo el 29 de junio de 1887, con hipocentro posiblemente en la falla de Girón.
- El sismo 23 de febrero de 1913, afectando a las provincias de Azuay y Loja.

Existen en los registros otros sismos de menor magnitud y por tanto, de menor impacto para la ciudad. Entre los estudios realizados por la RSA en el año 2002 se obtienen mapas de amenaza sísmica para la región del Austro ecuatoriano (Fig. 1.16), obteniendo como respuesta una aceleración máxima en roca de 0.25 g en un período de retorno de 475 años. Estos datos obtenidos, sumado a la existencia de la falla de Girón en las proximidades de la zona, ubican a Cuenca como una ciudad de alta amenaza sísmica.

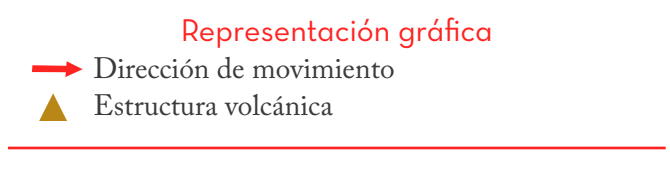
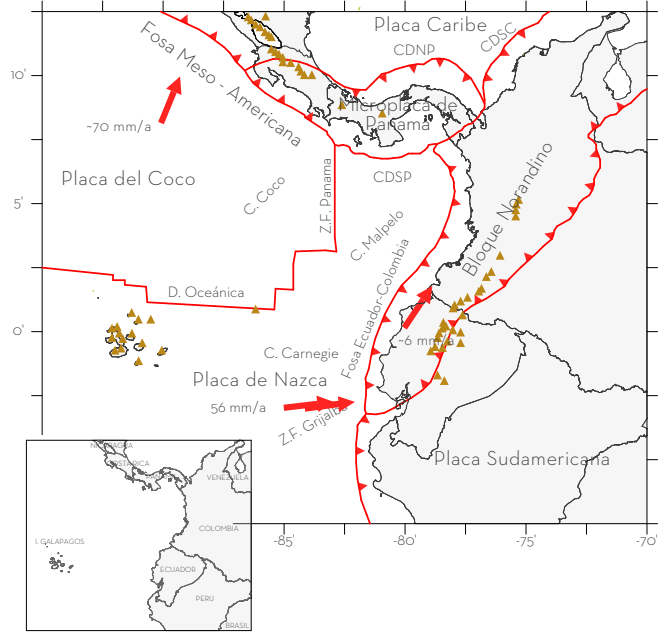


Figura 1.15 Características tectónicas de la región de estudio. Gráfico recuperado de Estimación de la peligrosidad sísmica en Ecuador continental. Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



40 **MAPA INTEGRADO DE DAÑO ESTRUCTURAL PARA UN SISMO DE DISEÑO (0.05g)**

Mampostería no reforzada - hormigón armado

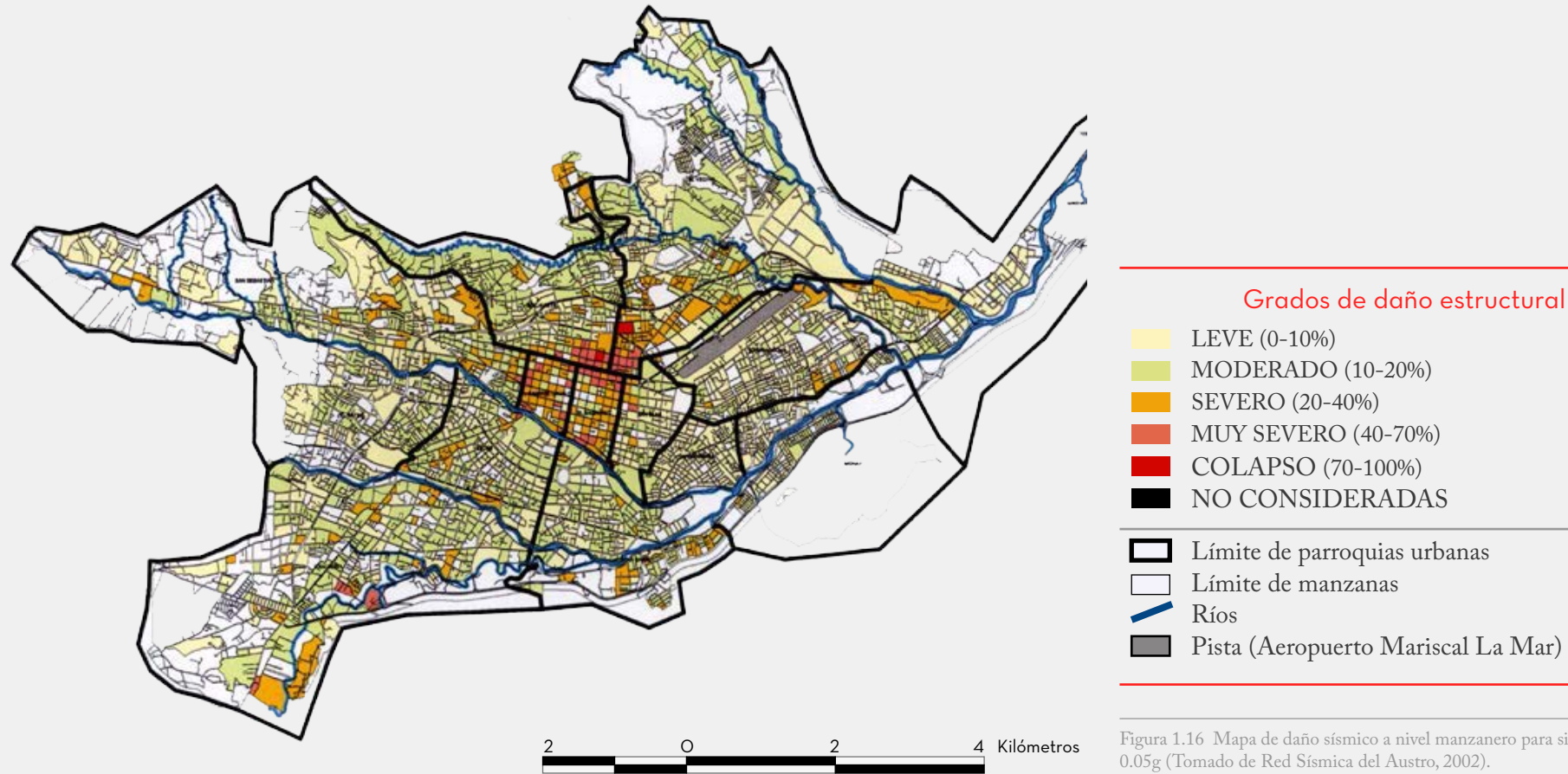


Figura 1.16 Mapa de daño sísmico a nivel manzanero para sismo leve, PGA= 0.05g (Tomado de Red Sísmica del Austro, 2002).



**1.5 NORMATIVAS VIGENTES
Y DISEÑO SÍSMICO**

1.5.1 Antecedentes

La lectura histórica presentada no solo tiene un fin documental de la transición de normativas en el país, sino tener conocimiento sobre dichos eventos y su influencia en la implementación de normativas con respecto a la ocurrencia y agravamiento de situaciones de riesgo. Las políticas nacionales son necesarias para la implementación de normas técnicas en materia de gestión de riesgos que permitan actuar en una fase preventiva que mitigue daños ante una catástrofe. En la historia del Ecuador han ocurrido eventos sísmicos destructivos que han generado graves secuelas sociales, psicológicas y económicas para la población de las regiones afectadas (Rivadeneira et al., 2007).

Por este motivo se implementa en el año 1977 un primer código de construcción en el país. En este código se describen estimaciones de fuerzas laterales y diseño sísmico basado en la publicación del código americano Uniform Building Code 1974 (UBC), promulgada por la Conferencia Internacional de Oficiales de la Construcción en California, Estados Unidos.

En el año 1993 y mediante un decreto ejecutivo se conforma un comité para la implementación del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC) basado en el código del American Concrete Institute (ACI318).

Esta normativa tiene el objetivo de proporcionar requisitos mínimos para el diseño, construcción, control y ejecución de obras, con la finalidad de mejorar la calidad de las edificaciones y proteger la vida de sus ocupantes. A partir del año 2001, en el cual se visualizaron colapsos y daños importantes en edificaciones producto del terremoto de magnitud 7,1 en Bahía de Caráquez, se introduce el diseño sísmico en normativas. En este año el CEC implementa un apartado, entre sus capítulos, denominado: Requisitos generales de diseño: Peligro sísmico, Espectros de Diseño y Requisitos mínimos de Cálculo para Diseño Sismo Resistente.

El CEC - Peligro sísmico tiene entre sus objetivos principales: prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales ante eventos sísmicos y evitar el colapso ante sismos severos que pueden ocurrir durante el tiempo de vida útil de la estructura. La normativa plantea la obligación de su cumplimiento hacia profesionales e instituciones públicas y privadas.

En el año 2011 el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda dispone una actualización al Código Ecuatoriano de la Construcción y se modifica su nomenclatura a NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción).

**42 1.5.2 Norma Ecuatoriana de la Construcción
2014**

Se instaure como proyecto de ley la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en la cual se regularon los procesos y exigencias básicas de seguridad y calidad en edificaciones a partir del 2011. Los pr
ética y mantener el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad.

En el año 2014 se realiza una actualización de la norma mediante un acuerdo ministerial, siendo este documento la normativa vigente hasta la fecha. La NEC se estructura en tres componentes principales:

- Seguridad Estructural NEC-SE
- Habitabilidad y Salud NEC-HS
- Servicios Básicos NEC-SB

Dentro del eje de Seguridad Estructural NEC-SE se encuentra un capítulo de relevancia para el estudio del presente trabajo de titulación: Diseño Sismo Resistente NEC-SE-DS, el cual tiene como objetivo presentar una metodología aplicada al diseño sismo resistente en edificios y otras estructuras.

1.5.3 Diseño Sísmico

Según la NEC (2014), el diseño sísmico busca evitar la pérdida de vidas que son producto del colapso de los elementos estructurales y no estructurales, además de la protección y garantía de la funcionalidad del edificio después del evento sísmico. Adicionalmente, a través del diseño sísmico se puede otorgar mayor protección a la propiedad y el cumplimiento del adecuado desempeño sísmico del edificio. El diseño estructural se realiza en función del «sismo de diseño», el cual es un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años. Esto es equivalente a un periodo de retorno de 475 años y se determina a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio.

La aplicación del diseño sísmico permite que la estructura:

- Tenga la capacidad de resistir las fuerzas especificadas por la norma.
- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar la energía de deformación inelástica, usando técnicas de diseño por capacidad o mediante la utilización de dispositivos de control sísmico.

Procedimiento

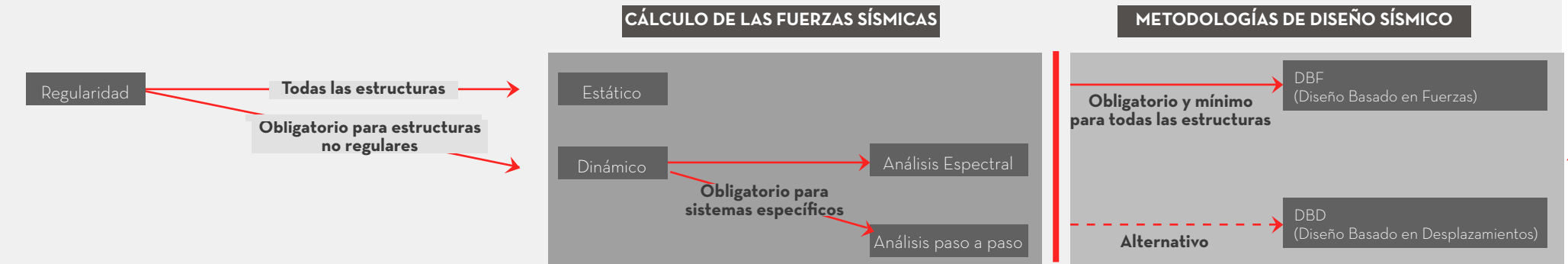
Para aplicar la metodología de diseño se debe considerar:

- La zona sísmica correspondiente al lugar donde se emplaza la estructura: Factor Z o la curva de peligro sísmico.
- Características del suelo de emplazamiento.
- Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.
- La resistencia mínima de diseño según el nivel de desempeño sísmico, el tipo de sistema, y la configuración estructural.

Zona Sísmica y factor de zona Z

El valor Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad. En el Ecuador existen seis zonas sísmicas identificadas y caracterizadas por un valor propio de factor Z . En el mapa a continuación se visualiza cada zona, siendo este resultado de un estudio de peligro sísmico para un período de retorno de 475 años.

Esquema simplificado de cálculo de las fuerzas sísmicas laterales y métodos de análisis de la NEC-SE-DS



Esquema simplificado del Diseño Basado en Fuerzas (DBF) de la NEC-SE-DS

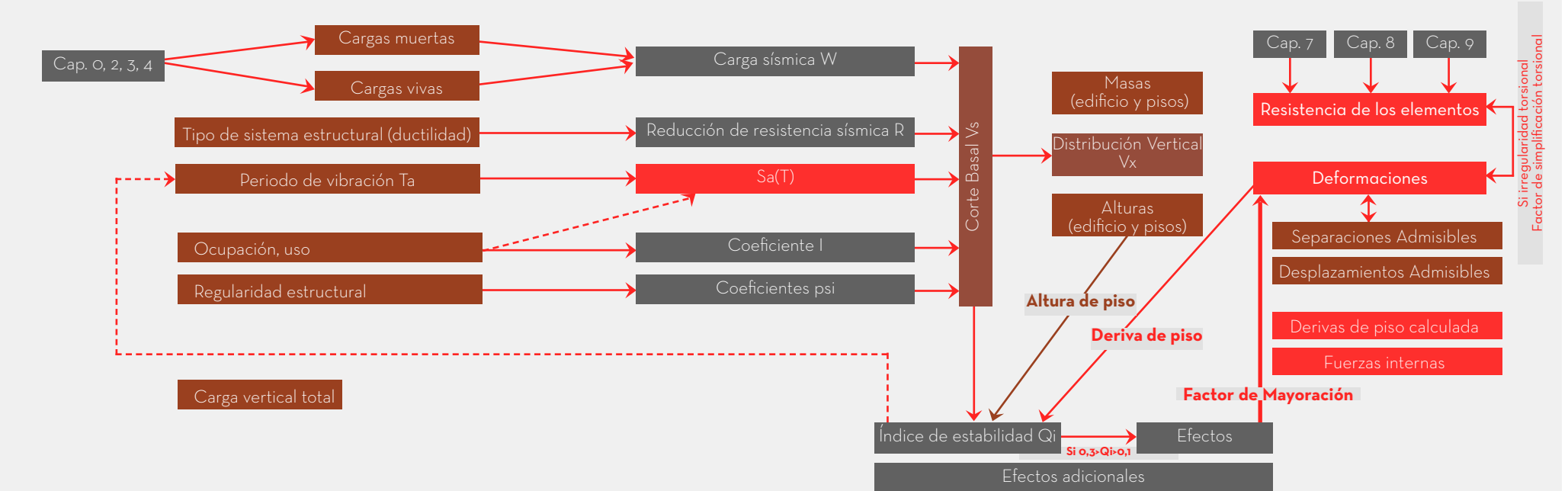


Figura 1.17 Esquemas simplificados del cálculo de fuerzas sísmicas laterales, métodos de análisis y diseño basado en fuerzas (DBF). NEC-15 Peligro sísmico diseño sismoresistente. Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



1.6 ENSAYOS EN HORMIGÓN ARMADO

El aumento del uso de sistemas constructivos en hormigón armado y la visibilización de sus signos de deterioro, han aumentado el interés para conocer sus propiedades in situ a partir de los años 1960 (Henry, 2003). Los ensayos aplicados en hormigón armado son pruebas realizadas con el objetivo de evaluar la calidad del material y sus propiedades, su integridad o durabilidad en el tiempo y pueden realizarse en dos estados diferenciados del hormigón: fresco y endurecido. Los ensayos en hormigón fresco tienen como finalidad conocer las características del mismo, mientras que los ensayos en hormigón endurecido permiten determinar diversas cualidades como su resistencia (Jiménez et al., 2000). Para determinar la resistencia del hormigón y según su naturaleza, existen dos grandes tipos de ensayos empleados normalmente y se clasifican en destructivos y no destructivos.

- Los ensayos destructivos determinan la resistencia mediante la rotura de probetas o de piezas de hormigón. Las muestras pueden ser elaboradas en moldes destinados propiamente para el ensayo o pueden ser extraídas de una obra ya construída.
- Los ensayos no destructivos determinan la calidad del hormigón sin destruir la pieza o la estructura ensayada.

1.6.1 Ensayos No Destructivos

El uso de los ensayos no destructivos es recomendado en estructuras ya que su aplicación no causa daños eventuales que puedan perjudicar el rendimiento de la obra o que puedan generar la necesidad de reparar una parte afectada (Henry, 2003). Para aplicar adecuadamente estos ensayos es importante conocer las propiedades evaluadas con cada método de control, además de las limitaciones de cada uno. Los ensayos no destructivos son continuamente materia de estudio, ya que el progreso de diversas técnicas electrónicas ha contribuido a mejorar el grado de precisión de los resultados obtenidos (Jimenez, Garcia & Morán, 2000).

Existen diversos ensayos no destructivos que pueden encaminarse en determinar ciertas características del hormigón como la dureza, el módulo de elasticidad o la densidad, para obtener una estimación de la resistencia del hormigón. Debido a la diversidad de las técnicas, es necesario esclarecer la necesidad de uso de cada método, identificando el objetivo de aplicación.

Cruz, Quintero, Espinosa y Galán (2014) realizan una revisión de las principales técnicas no destructivas utilizadas para la inspección de elementos representativos estructurales.Existen diversas técnicas y destacan las mencionadas a continuación (Fig. 1.18).



CARACTERÍSTICAS DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS EMPLEADAS EN EVALUACIÓN DEL CONCRETO

Técnicas para evaluar la presencia de corrosión y ubicar barras de refuerzo				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Profometer	Localización de barras, medición del diámetro y espesor de recubrimiento de concreto de refuerzo	Se basa en la medición del cambio de un campo electromagnético causado por el acero embebido en el concreto	Dispositivo con panel de operación, sonda universal y el ScanCar.	ASTM D6087 – 08
Técnicas para evaluar la resistencia del concreto				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)	Evaluación de la uniformidad del concreto, presencia de grietas y vacíos. Permite establecer correlaciones con la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.	La velocidad de un haz de ondas ultrasónicas al atravesar un material depende de la densidad y de sus propiedades elásticas. Una alta velocidad indica alta calidad de concreto en términos de densidad, uniformidad y homogeneidad.	Generador de impulsos eléctricos; transductores emisor y receptor.	ASTM C597-02
Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)	Evaluación de la uniformidad del concreto, presencia de grietas y vacíos. Permite establecer correlaciones con la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.	La velocidad de un haz de ondas ultrasónicas al atravesar un material depende de la densidad y de sus propiedades elásticas. Una alta velocidad indica alta calidad de concreto en términos de densidad, uniformidad y homogeneidad.	El equipo consiste en una pesa tensada con un muelle, la pesa es lanzada contra el hormigón, midiendo el índice de rebote.	ASTM C80 5-85
Técnicas para analizar grietas, vacío, delaminaciones				
TÉCNICA	APLICACIÓN	PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	NORMA
Termografía infrarroja	Detección de discontinuidades y defectos, a través de cambios en temperatura superficial de la muestra.	Se basa en la detección de cambios del flujo de calor ocurridos en un material, debido a la presencia de anomalías internas.	Cámara termográfica con una lente de infrarrojos.	ASTM E 1311, E 1213, E 1543

Figura 1.18 Cuadro resumen de características de técnicas no destructivas empleadas en evaluación del concreto. Recuperado de Cruz, Quintero, Espinosa & Galán (2014). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



46 **1.6.2 Ensayos para obtener la resistencia del concreto**

Existen dos ensayos no destructivos que permiten obtener la resistencia del elemento constructivo que se analiza:

- Velocidad de pulso ultrasónico VPU (Ultrasonido)
- Martillo de rebote para ensayos de hormigón (Esclerometría)

La aplicación de ambos métodos está sujeta a diversas recomendaciones que deben seguirse para obtener los datos y resultados de manera adecuada.

Según Hostalet (1994) en el caso de los ensayos no destructivos, afirma que el método ultrasónico tiene un grado adecuado de fiabilidad (en medición directa) pero un bajo nivel de precisión cuando se utiliza directamente para estimar la resistencia a la compresión del hormigón.

Según Henry (2003) en el caso de los ensayos aplicados con esclerómetro, su aplicación es rápida y económica, sin embargo, posee limitaciones en cuanto a los resultados ya que las medidas son afectadas por la rugosidad de la superficie o las condiciones de humedad.

1.6.2.1 Velocidad de pulso ultrasónico VPU (Ultrasonido)

Fundamentación

Según Henry (2003) y Jiménez, García & Morán (2000) la aplicación de este ensayo se basa en el estudio de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas a través de un medio homogéneo y las constantes elásticas del material que están ligadas a la resistencia del mismo.

Uso

Según Ortega (2007) a través de los datos obtenidos del ensayo, es posible:

- Identificar las zonas débiles de la estructura en función de la homogeneidad del material.
- Determinar el daño existente en capas por agentes externos (condiciones climáticas, ataques químicos, acción de fuego, etc.).
- Obtener constantes físicas del material como el Módulo de Elasticidad Dinámico.
- Determinar la resistencia a compresión y tracción.

Aplicación

El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico se realiza utilizando dos elementos denominados transductores electroacústicos, los cuales son dispositivos encargados de convertir la señal de un tipo de energía en otra. Mediante un transductor que se encuentra en un lado del elemento a analizar, se genera un impulso de vibración longitudinal y al otro lado, un segundo transductor recibe la señal después de recorrer una determinada distancia (Fig. 1.19). El pulso vibratorio viaja a través del miembro y es detectado por un transductor de recepción juntado a la superficie opuesta del concreto.

Análisis e interpretación de datos

El circuito electrónico del aparato mide el tiempo de propagación del impulso a través del material. Esta velocidad de transmisión se determina por el cociente entre la distancia que existe entre los transductores y el tiempo de tránsito en la distancia. A partir de esta información obtenida, se puede determinar las propiedades elásticas del elemento analizado, de esta manera, se obtiene el módulo elástico dinámico.



1.6.2.2 Martillo de rebote para ensayos de hormigón (Esclerometría)

Fundamentación

Según Henry (2003) y Jiménez, García & Morán (2000) el ensayo esclerométrico puede proporcionar una estimación de la resistencia del hormigón basada en la relación que existe entre la resistencia del elemento y su dureza superficial. Este ensayo se determina a partir de la medición de la energía residual de un impacto sobre la superficie del elemento.

Uso

Según Ortega (2007) a través de los datos obtenidos del ensayo, es posible:

- Estudiar la homogeneidad del hormigón.
- Estimar la resistencia del hormigón.

Según Hernández et al. (2017) la aplicación de ensayos por esclerómetro constituyen un método no destructivo rápido para estimar la resistencia de estructuras. Se caracteriza además por la seguridad, facilidad de uso, y la capacidad de mantener la integridad del elemento de estudio.

Aplicación

El elemento destinado a ser sometido a ensayo, debe poseer una superficie adecuada: limpia y lisa. El equipo debe ser colocado en posición vertical, horizontal o inclinada sobre el elemento, el cual evalúa la capacidad del elemento para absorber energía cuando es deformado elásticamente y libera la energía tras ser descargado. El rebote se obtiene en función de la respuesta del martillo ligero que compone el equipo, el cual es un cilindro macizo de acero, que choca directamente con la superficie de la pieza. El número de rebote (R) corresponde a la energía de impacto no absorbida por el hormigón.

Interpretación de datos

La energía absorbida depende de la relación esfuerzo-deformación del hormigón en rango elástico. A mayor resistencia del elemento, la energía obtenida del rebote disminuye. La medición del rebote se muestra en una barra lineal en el instrumento, el cual proporciona un número determinado de fuerza recuperada luego del rebote, el cual puede ser interpretado posteriormente en función de la normativa.



1.7 ANÁLISIS MODAL

Los conceptos expuestos a continuación forman parte del estudio teórico realizado y fueron tomados directamente del libro Análisis Modal: Teoría y Práctica de D.J. Ewins (1995) .

1.7.1 Teoría del análisis modal

El estudio experimental de la vibración estructural ha proporcionado una contribución importante para comprender y controlar los muchos fenómenos de vibración encontrados en la práctica. Desde la primera aproximación al uso de las vibraciones, se han realizado observaciones experimentales para los dos objetivos principales de (a) determinar la naturaleza y el alcance de los niveles de respuesta de vibración y (b) verificar los modelos teóricos y las predicciones.

Definición

El análisis modal se define como el proceso involucrado en someter a pruebas componentes o estructuras con el objetivo de obtener una descripción matemática de su dinámica o de su comportamiento ante vibraciones. La aplicación más utilizada del análisis modal es la medición de modos de vibración para compararlos con los datos correspondientes producidos por un elemento finito u otro modelo teórico.

Aplicación

Se aplica el análisis modal con el objetivo de validar el modelo teórico y para predecir los niveles de respuesta a excitaciones complejas. La comprobación de los principales modos de vibración mediante pruebas puede proporcionar una garantía de la validez básica del modelo. Para esto se requiere: estimaciones precisas de las frecuencias naturales y descripciones de las formas de los modos para permitir su identificación y correlación con las del modelo teórico.

Filosofía del Análisis Modal

Uno de los principales requisitos, en tema de las pruebas modales, es una integración completa y adecuada de tres componentes:

- (i) Bases teóricas de la vibración
- (ii) Medición precisa de la vibración
- (iii) Análisis de datos realistas y detallados

Fundamentación teórica

Según Frechilla (2017) el análisis modal es un proceso mediante el cual se describe una estructura en términos de sus propiedades dinámicas o parámetros modales que son la frecuencia, el amortiguamiento y los modos de vibración, para todos los modos en el rango de frecuencias de interés. Todas las estructuras poseen frecuencias naturales y modos de vibración, que dependen de la masa y rigidez de la estructura. El análisis modal es una herramienta eficiente para describir, comprender y modelar el comportamiento de las estructuras.

Hipótesis

El análisis modal se debe considerar que la respuesta en vibración de un sistema puede ser expresada como una combinación de una serie de movimientos armónicos simples llamados modos naturales de vibración, intrínsecos al sistema y determinados por el valor y distribución de su masa, rigidez y amortiguamiento.

La forma teórica del análisis modal consiste en plantear la ecuación del movimiento, suponer una forma de la respuesta e imponer que esta cumpla la ecuación que gobierna el movimiento del sistema, lo que supone resolver un problema de autovalores y autovectores.

Fases

Según Ewins (1995) es necesario identificar las diferentes etapas de la denominada «ruta teórica» del análisis modal (Fig. 1.20). Esto ilustra las tres fases a través de las cuales progresa un análisis de vibración típico.

Modelo espacial: El modelo espacial se refiere a una descripción de las características físicas de la estructura, descritas usualmente en términos de masa, rigidez y amortiguación.

Modelo modal: Este modelo se define como un conjunto de frecuencias naturales con formas de modo de vibración correspondientes y factores de amortiguación modales. Esta solución describe las diversas formas en que la estructura es capaz de vibrar de forma natural sin ningún tipo de fuerza externa de excitación, por lo que se denominan modos normales o naturales.

Modelo de respuesta: Este modelo presenta exactamente cómo vibrará la estructura en determinadas condiciones de salida y con qué amplitudes. Dependerá de las propiedades actuales de la estructura y de la naturaleza y magnitud de la excitación impuesta. El modelo consistirá en un conjunto de funciones de respuesta de frecuencia que deben definirse en el rango de frecuencia aplicable.

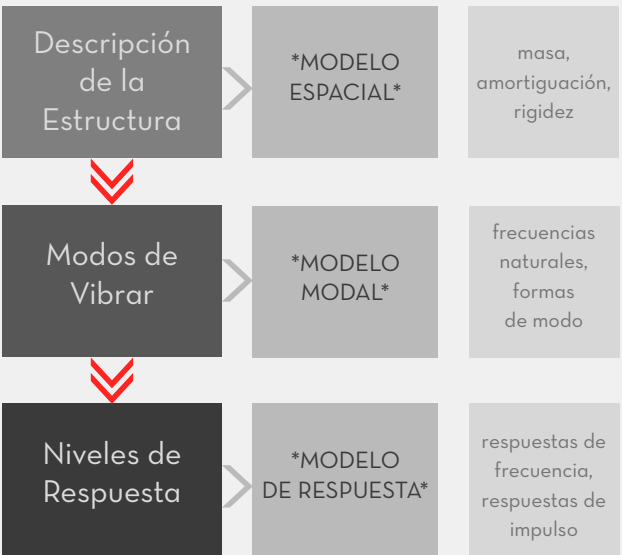


Figura 1.20 Esquema de la ruta teórica del análisis vibratorio. Gráfico recuperado de Análisis Modal: Teoría y práctica, Ewins (1995). Adaptación realizada por Morochó & Sarmiento (2020).





50 1.7.2 Sistemas y grados de libertad

Se define como grados de libertad al número de parámetros desconocidos que determinan la ubicación de las masas del sistema ante todas las probables deformaciones elásticas de sus elementos.

Los sistemas existentes en el análisis modal se clasifican generalmente en sistemas de uno o múltiples grados de libertad, y llevan la siguiente nomenclatura de aplicación y uso:

SDOF

Single Degree of Freedom - Sistema de un grado de libertad.

MDOF

Multiple Degree of Freedom - Sistema de múltiples grados de libertad.

Únicamente pocas estructuras prácticas podrían modelarse de manera realista mediante un sistema de un grado de libertad (SDOF). Sin embargo, las propiedades de dicho sistema son muy importantes ya que pueden representar sistemas más complejos de múltiples grados de libertad (MDOF) como superposición lineal de una serie de características (SDOF).

Sistema de un grado de libertad (SDOF)

Modelo sin amortiguamiento

Un sistema mecánico es de un grado de libertad cuando una única variable permite describir su movimiento. Este sistema es el caso más simple del análisis modal y permite explicar conceptos más complejos. El ejemplo de este sistema se evidencia en un sistema de un oscilador simple con un grado de libertad, el cual puede estudiarse mediante un modelo no amortiguado con vibraciones libres (Fig. 1.21).

- x** coordenada que indica la posición de la masa
- m** masa de la estructura
- k** rigidez constante

La ecuación es la siguiente:

$m\ddot{x} + kx = 0$

Modelo con amortiguamiento

Existe otro modelo, de un grado de libertad con amortiguamiento, en dónde existe un elemento que posee masa o inercia, que es completamente rígido y que no disipa energía (Fig. 1.22). Sobre la masa del oscilador actúan:

- f_i(t)** fuerza de inercia producto de la masa por la aceleración
- f_a(t)** fuerza de amortiguamiento de energía mecánica que se supone proporcional a la velocidad (amortiguamiento viscoso)
- f_e(t)** fuerza elástica proporcional a la rigidez de la estructura y a su desplazamiento
- f(t)** fuerza exterior de carácter dinámico
- x(t)** Desplazamiento respecto a la posición de equilibrio
- m** Masa del oscilador
- c** Coeficiente de amortiguamiento
- k** Rigidez

Todas las fuerzas que actúan sobre el oscilador deben estar en equilibrio y su suma debe ser nula.

Esta ecuación de equilibrio (ecuación de D'Alembert) se puede formular del modo siguiente:

$f_i(t) + f_a(t) + f_e(t) = f(t) \rightarrow m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t)$

Existen dos parámetros en un sistema de un grado de libertad que dependen únicamente de los coeficientes de la ecuación diferencial, que son:

Frecuencia natural: $\Omega_0 = \sqrt{k/m}$ (rad/ s)

Coefficiente de amortiguamiento: $\gamma = c / c_{crítico}$

Velocidad de reacción

Ante una acción exterior, las estructuras reaccionarán de formas diferentes según sus características geométricas y de materiales (rigidez) y de la inercia que la estructura opone al movimiento (masa).

La respuesta está íntimamente relacionada con las formas o modos de vibrar y sus correspondientes periodos o frecuencias propios.

En el caso del oscilador de un grado de libertad SDOF se comportaría como el gráfico lo expone a continuación (Fig. 1.24).

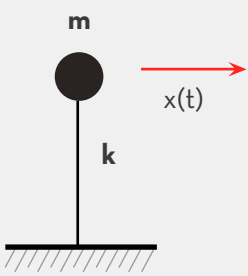


Figura 1.21 Gráfico modelo de un sistema de 1 grado de libertad SGLD sin amortiguamiento. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

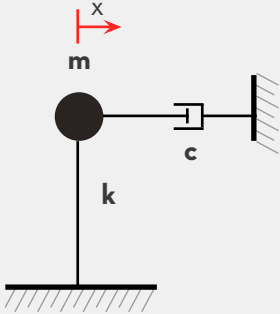


Figura 1.22 Gráfico modelo de un sistema de 1 grado de libertad SGLD con amortiguamiento. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

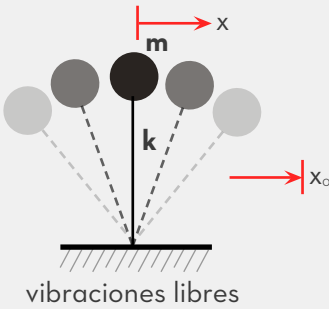


Figura 1.23 Gráfico modelo de un sistema de 1 grado de libertad SGLD sin amortiguamiento en vibración. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

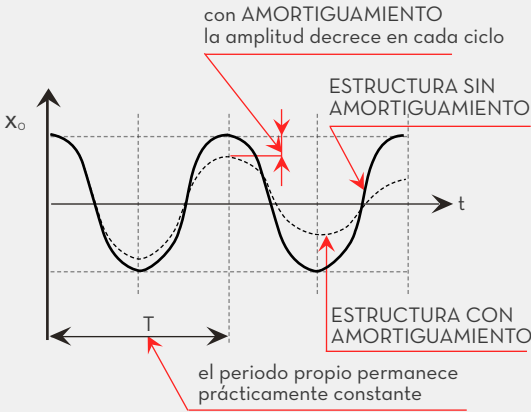


Figura 1.24 Gráfico modelo de la velocidad de reacción de un sistema de 1 grado de libertad SGLD con y sin amortiguamiento. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).





52 Sistema de múltiples grados de libertad (MDOF)

Según Piqué del Pozo & Scaletti (1991) cuando se emplea el análisis modal para sistemas estructurales reales, es necesario considerar el sistema de múltiples grados de libertad. Podría inferirse que una estructura real posee infinitos grados de libertad, sin embargo, es posible reducir su número a un sistema finito considerando que los desplazamientos intermedios de los elementos pueden ser expresados en función de los desplazamientos de los nudos extremos (Fig. 1.25).

Para poder definir adecuadamente la deformación del sistema, es necesario que el número de grados de libertad debería ser igual al número de componentes de desplazamiento. De esta manera, se puede determinar las fuerzas internas de manera aproximada.

Componentes

Un sistema de múltiples grados de libertad es aquel que precisa de N parámetros o coordenadas para que su posición y configuración deformada quede definida. Comunmente se suele tomar como coordenadas del sistema los desplazamientos de un conjunto de puntos llamados nudos. Se debe considerar todos los grados de libertad necesarios para reproducir el comportamiento de la estructura.

La ecuación de equilibrio se formula para cada uno de los grados de libertad considerados, y mediante procedimientos de ensamblaje similares a los del cálculo matricial estático, el conjunto de ecuaciones de equilibrio se puede expresar como un sistema matricial de orden N del modo siguiente:

$x(t)$ Vector desplazamiento respecto a la posición de equilibrio

$\dot{x}(t)$ Primera derivada respecto al tiempo del vector desplazamiento

$\ddot{x}(t)$ Segunda derivada respecto al tiempo del vector desplazamiento

M Matriz de masas

C Matriz de amortiguamiento

K Matriz de rigidez

$f(t)$ Vector de fuerzas exteriores

$$Mx(t) + Cx(t) + Kx(t) = f(t)$$

1.7.3 Relaciones y modelos de simulación

Los conceptos expuestos a continuación forman parte del estudio teórico realizado y fueron tomados directamente del libro Análisis Sísmico de Edificios de J. Piqué del Pozo y H. Scaletti Farina (1991) .

Para generar modelos de simulación aplicados a edificios sometidos a cargas sísmicas, la excitación principal está formada por aceleraciones verticales, es decir, fuerzas de inercia horizontales que provocan en la estructura una deformación lateral y cuyos grados de libertad independientes son los desplazamientos horizontales de los nudos.

Un edificio sometido a la acción de un sismo es un sistema de varios grados de libertad por lo que es importante analizar teóricamente el tratamiento de este sistema.

Modelos: sistema de acoplamiento cercano

El modelo básico de un sistema de varios grados de libertad corresponde a una serie de masas interconectadas por resortes sin peso (Fig. 1.25). Es aplicable a las vibraciones laterales de un pórtico con vigas infinitamente rígidas y despreciando la deformación axial de las columnas.

Modelos: sistema de acoplamiento lejano

Este modelo simula el comportamiento de una estructura real. Las masas están conectadas por elementos flexibles, por lo tanto, este modelo que presenta todos sus elementos interconectados, se aproximaría a una representación de la realidad (Fig. 1.26).

Ejemplo de aplicación - Grados de Libertad

Los grados de libertad son aquellos en los cuales se generan las fuerzas inerciales (masa por aceleración o momento de inercia por aceleración angular). Por ende, el conocimiento de las características de dichos grados de libertad son necesarias para realizar el análisis modal.

En las figuras a continuación se evidencia el modelo bidimensional de una estructura tipo conformada por dos niveles, vigas y columnas. El gráfico de mayor uso para explicación del sistema permite analizar el pórtico en su plano principal, considerando todos los grados de libertad. Al emplear este tipo de modelos, es común que se suponga que todos los pisos son diafragmas rígidos en su plano, lo que permite expresar el movimiento de cualquier punto del piso en términos de tres grados de libertad: un giro en torno a un eje vertical, y dos desplazamientos horizontales.

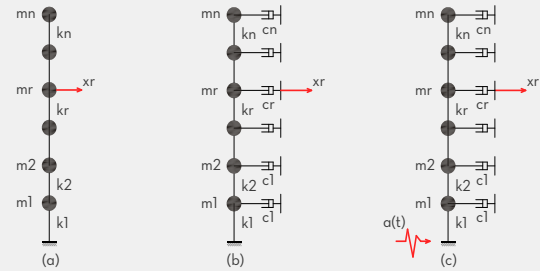


Figura 1.25 Modelos con varios grados de libertad, (a) modelo conservativo; (b) modelo con amortiguamiento; (c) modelo sísmico. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

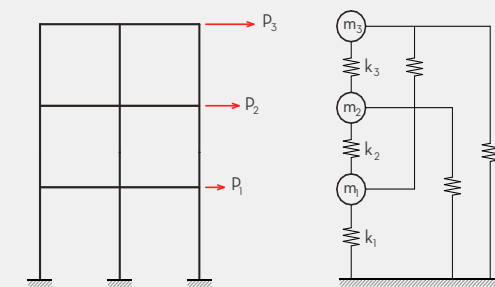


Figura 1.26 Modelo de un sistema de acoplamiento lejano. Gráfico recuperado de Análisis Sísmico de edificios, Piqué del Pozo & Scaletti (1991). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

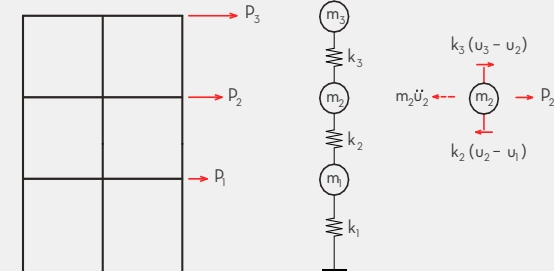


Figura 1.27 Modelo de un sistema de acoplamiento cercano. Gráfico recuperado de Análisis Sísmico de edificios, Piqué del Pozo & Scaletti (1991). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

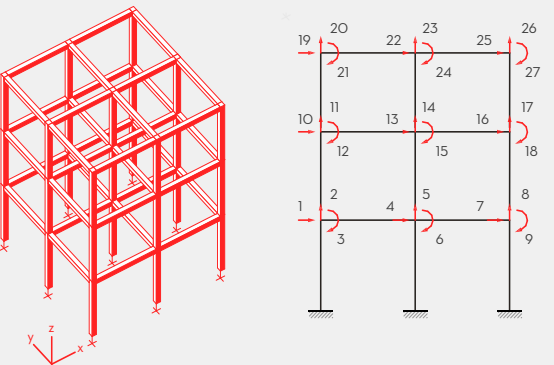


Figura 1.28 Gráfico modelo de un sistema de tres niveles tridimensional y su equivalencia en sistema bidimensional: pórtico plano con tres grados de libertad. Gráfico recuperado de Análisis Sísmico de edificios, Piqué del Pozo & Scaletti (1991). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

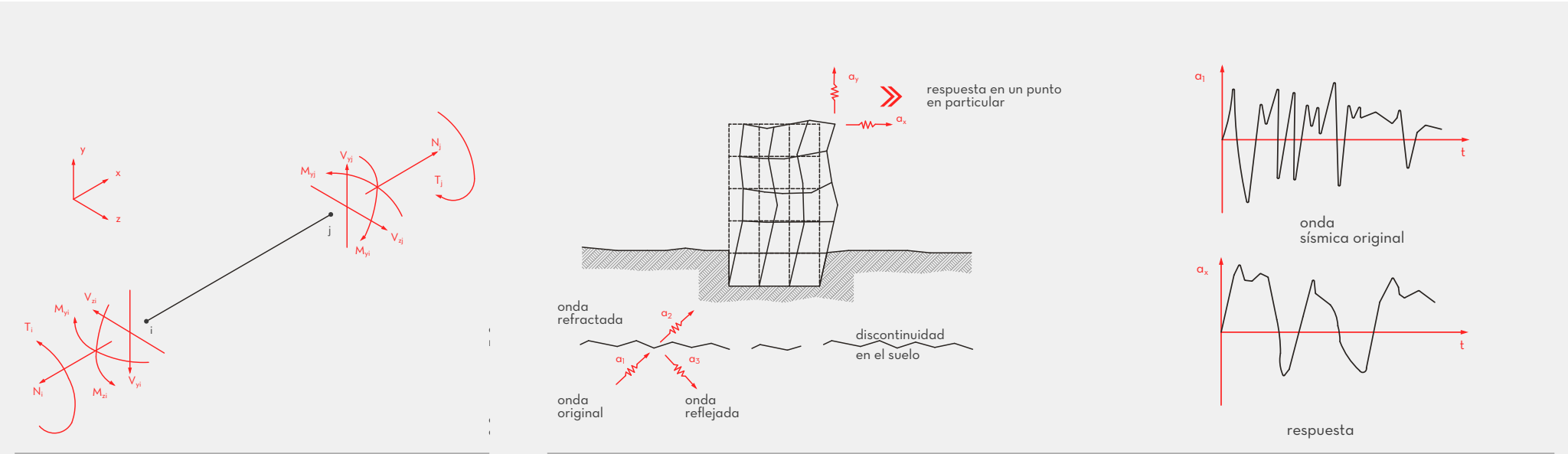


Figura 1.29 Modelo de un elemento viga y sus grados de libertad. Gráfico recuperado de StaBIL - A finite element toolbox (2014). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

Figura 1.30 Comportamiento y acción de un movimiento sísmico. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

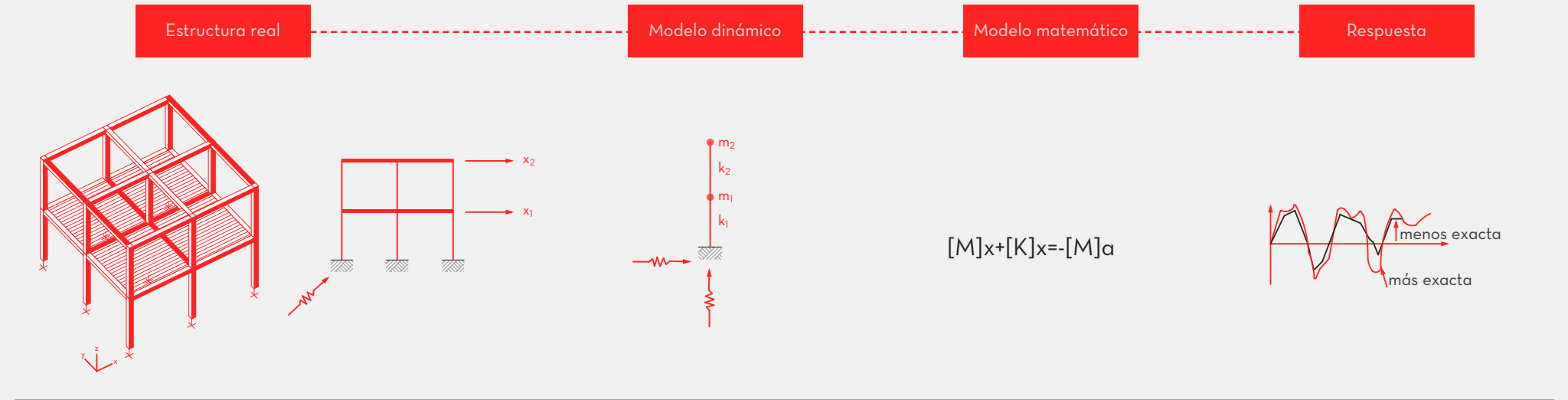


Figura 1.31 Análisis modal - Modelado y comportamiento de una estructura. Gráfico recuperado de Análisis de Estructuras bajo acciones Dinámicas, Cassano (2009). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



1.8 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Los conceptos expuestos a continuación forman parte del estudio teórico realizado y fueron tomados directamente de Desarrollo de una interfaz gráfica en Matlab para el Análisis Modal de Vigas, Moreno (2014) y del texto Fundamentos del Análisis de Elementos Finitos, Hutton (2004).

1.8.1 Definición

El método de elementos finitos es un método numérico utilizado para encontrar soluciones precisas a problemas mecánicos y estructurales. Se fundamenta en generar un reemplazo de la estructura objeto de estudio, por múltiples elementos más pequeños que se comportan como miembros estructurales continuos denominados elementos finitos. Estos elementos se interconectan unos con otros entre sí en diversos puntos denominados nodos.

Modelo

El método de elementos finitos considera a una estructura como un encaje de partículas de tamaño finito. El proceso de conversión de una estructura o sistema continuo a un sistema discreto (elementos finitos) se denomina discretización (Fig. 1.32). A mayor número de elementos finitos, mayor aproximación a la realidad se obtendrá del modelo (Fig. 1.33c).

Los elementos finitos que conforman la estructura están interconectados en puntos denominados nodos, los cuales representan los movimientos posibles de un punto debido a la carga de la estructura. De igual manera, los grados de libertad representan fuerzas y momentos que se transfieren a cada nodo.

Grados de libertad

Cada nodo o punto presenta una posibilidad de seis grados de libertad potenciales, los cuales pueden darse por traslación y/o rotación. La traslación se refiere al movimiento de un nodo a lo largo de los ejes X, Y, Z, mientras que la rotación se refiere al movimiento de un nodo alrededor de los ejes X, Y, Z. Cada tipo de elemento usa determinados grados de libertad, habiendo elementos que no usan la totalidad de grados de libertad existentes.

Elementos

Un elemento es la unidad básica de construcción del análisis por elementos finitos. Existen diversos tipos de elementos, y su uso dependerá del modelado y del tipo de análisis que se realiza. Estos elementos pueden ser líneas (vigas), áreas (placas bidimensionales) o sólidos (Fig. 1.33).



56 1.8.2 Procedimiento general del análisis por elementos finitos aplicados a un software

> Preproceso o definición del modelo

- Definir el dominio geométrico del problema
- Definir los tipos de elementos a utilizar
- Definir las propiedades de los materiales
- Definir las propiedades geométricas
- Definir las conectividades y malla del modelo
- Definir las restricciones o condiciones de borde
- Definir las cargas

> Solución

El software de aplicación integra las ecuaciones algebraicas del problema planteado, genera matrices y computa los valores desconocidos de las variables de campo primario. Estos valores son usados posteriormente para la sustitución y cómputo adicional de las variables derivadas como fuerzas de reacción o esfuerzos de los elementos.

> Postproceso

En esta etapa se analizan y evalúan los resultados obtenidos. El software contiene rutinas sofisticadas para clasificar y plotear los resultados selectos de la solución.

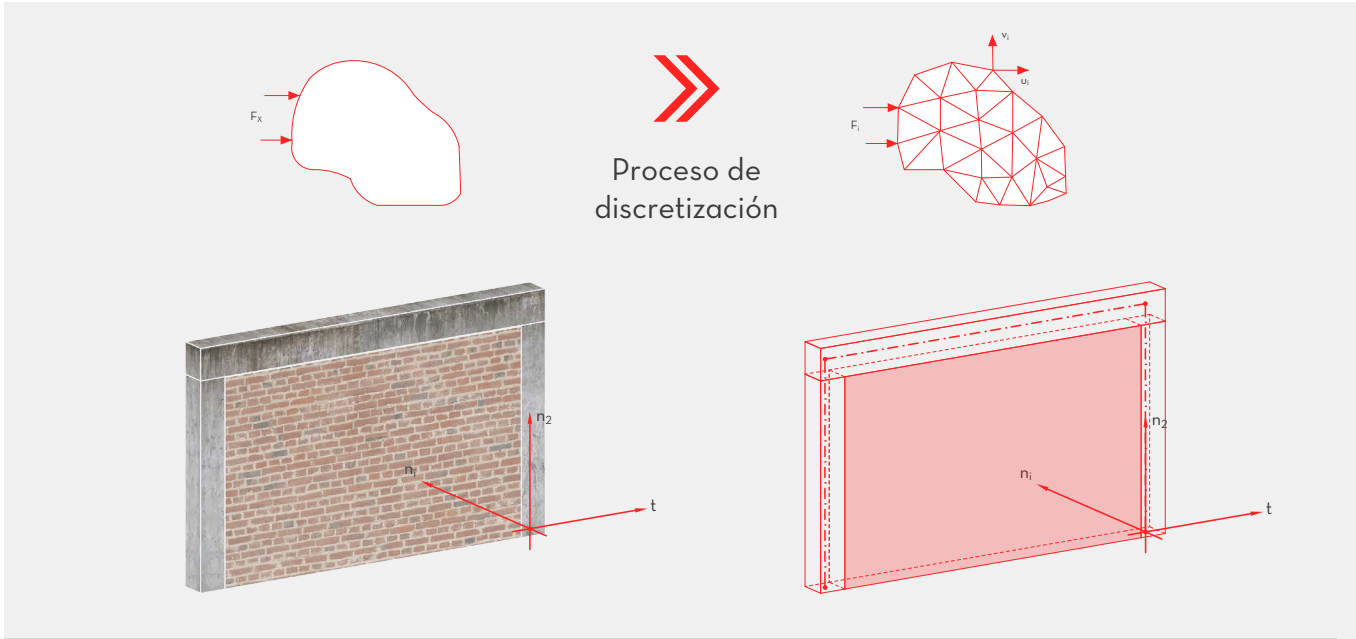


Figura 1.32 Proceso de discretización de modelos por método de elementos finitos. Gráfico realizado por Morocho & Sarmiento (2020).

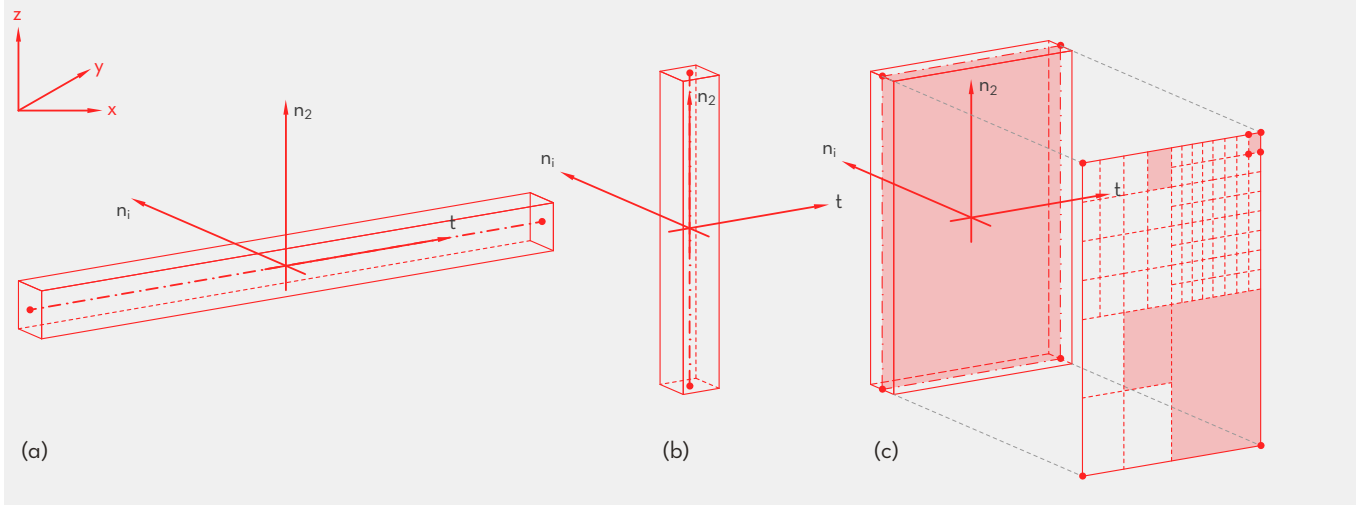


Figura 1.33 Elementos y localización de ejes locales en un sistema tridimensional. Gráfico recuperado de Análisis Sísmico de edificios, Lázaro (2015). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



1.9 APLICACIÓN DE SOFTWARE

1.9.1 Modelación tridimensional

Según Muñoz et al. (2012) la realidad virtual se define como un entorno que simula una entidad física en un ambiente ficticio o similar al real en una computadora. El uso de estos procesos se ha convertido en una herramienta de gran utilidad y complemento para estudios de diversas áreas, pero por sobretodo, en la arquitectura. La modelación tridimensional resulta útil en materia de reproducción de entornos históricos o contemporáneos, con ilimitada aplicación. Los modelos virtuales reflejan la geometría de la estructura con el detalle que el programador requiera.

1.9.2 Herramientas BIM

En la actualidad existen plataformas que han evolucionado rápidamente y han permitido nuevas posibilidades en áreas ligadas a la construcción, como es el caso de la ingeniería y la arquitectura. La más reconocida últimamente se denomina Building Information Modeling (BIM). Esta herramienta permite al usuario elaborar un modelo virtual tridimensional que representa a detalle el proyecto real, tanto en materialidad como en comportamiento de simulación. La ventaja de estos modelos reside en la integración de diversos datos que pueden ser extraídos del modelo con facilidad (Jobim et al., 2017)

Ventajas

- Almacenamiento integrado de datos del modelo.
- Modificaciones en el modelo se generan automáticamente y transmiten la información a documentos bidimensionales.
- Mayor eficiencia en procesos constructivos y de diseño, debido a la cantidad de información proporcionada por el modelo.
- Facilita la visualización del modelo y su integración a diversos parámetros y características.

Archicad

Este software de tipo BIM incorpora el modelado tridimensional con información para la ejecución del proyecto. Los modelos de edificios virtuales permiten al usuario optimizar el tiempo de generación de documentación necesaria para el proyecto, debido a la facilidad de almacenamiento y uso de datos.

El programa es compatible además con diversas herramientas de diseño en el mercado, y permite la exportación de sus modelos en diversos formatos para permitir amplio uso de la información generada en la interfaz.



58 **Formato IFC**

El formato denominado IFC (Industry Foundation Classes) es un formato de intercambio de datos neutral y abierto. Se encuentra abierto y optimizado para permitir la interoperabilidad del modelo en otras disciplinas, principalmente en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. El formato IFC es usado para la eficiente importación y exportación de elementos 3D y datos no geométricos relacionados, independientemente de la aplicación utilizada para crear el modelo.

Las clases y objetos IFC representan un modelo de información tanto geométrico como alfanumérico, formado por un conjunto de más de 600 clases y en continua ampliación. Todos los programas de software que soportan IFC pueden leer y escribir información e intercambiarla con otros programas. De este modo comunicamos “objetos”, con funcionalidad y propiedades.

Programas BIM como Archicad, permiten la importación y exportación de este tipo de modelos a través de opciones de configuración en su interfaz, las cuales permiten acoplar el modelo existente al formato de exportación requerido.

1.9.3 **Aplicación en software Matlab**

Matlab (abreviatura de Matrix Laboratory) es un programa empleado para realizar cálculo numérico y visualización, especialmente para cálculo matricial. Es una herramienta usada ampliamente en ingeniería debido a su sencillez, simplicidad de uso y la diversidad de funciones matemáticas que posee. Se emplea principalmente para investigación y resolución de problemas prácticos de ingeniería y matemática con énfasis en aplicaciones de control y procesamiento de señales (Frechilla, 2017).

- El programa integra:
 - Análisis numérico
 - Cálculo matricial
 - Procesamiento de señales
 - Gráficos
- El programa permite:
 - Escritura del programa en lenguaje matemático
 - Implementación de matrices como elementos básicos del lenguaje
 - Implementación de aritmética compleja.
 - Gran contenido de órdenes específicas, agrupadas en TOOLBOXES.

StaBIL

StaBIL es un programa desarrollado en la interfaz de Matlab como una herramienta de método de elementos finitos, elaborado por el Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad KU Leuven. La función principal de esta herramienta es permitir la solución de un sistema completo bajo la aplicación de funciones matemáticas. Permite la transformación de un cuerpo de naturaleza continua, en un modelo discreto aproximado, el cual se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Según Valero (2014) los programas para cálculo por elementos finitos disponen de tres módulos de trabajo:

Pre-Proceso

- Dibujo del modelo o importación si se ha generado por medio de otros sistemas compatibles.
- Selección del tipo de elemento a emplear según la aplicación.
- Selección de los materiales a emplear.
- Asignación de elemento y propiedades de los materiales a los diferentes componentes del modelo.
- Mallado de los componentes del modelo.
- Aplicación de las cargas exteriores.

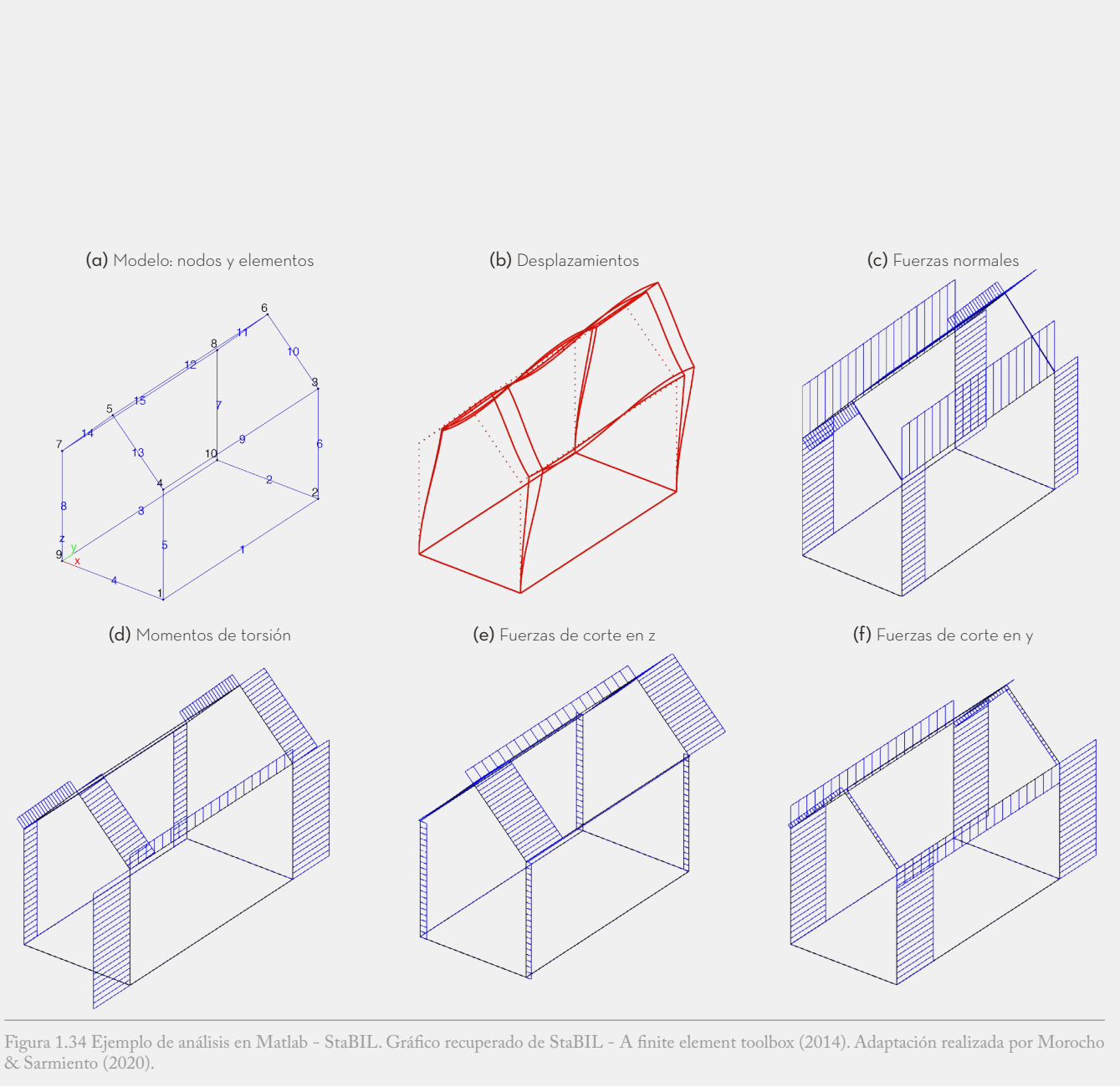
Cálculo

En esta etapa se realiza el cálculo de método de elementos finitos y se generan las soluciones.

Selección del tipo de cálculo a realizar, por ejemplo, si es un análisis estático o dinámico. Configuración de los parámetros de cálculo. Dar inicio al cálculo: el programa transfiere las cargas asignadas al modelo, genera matrices de rigidez, realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuaciones, y genera una solución.

Post-Proceso

En esta etapa se realiza la representación gráfica de los resultados, así como los resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo (Fig. 1.34).



«La ciencia no es perfecta, con frecuencia se utiliza mal, no es más que una herramienta, pero es la mejor herramienta que tenemos: se corrige a sí misma, está siempre evolucionando y se puede aplicar a todo. Con esta herramienta conquistamos lo imposible.»

Carl Sagan



2.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación y con el objetivo de demostrar la hipótesis planteada, se propone la siguiente metodología analítica, la cual a través de una evaluación integral al edificio, permitirá conocer a partir de los datos obtenidos, las propiedades de sus materiales, las cargas existentes y la interacción entre sus elementos.

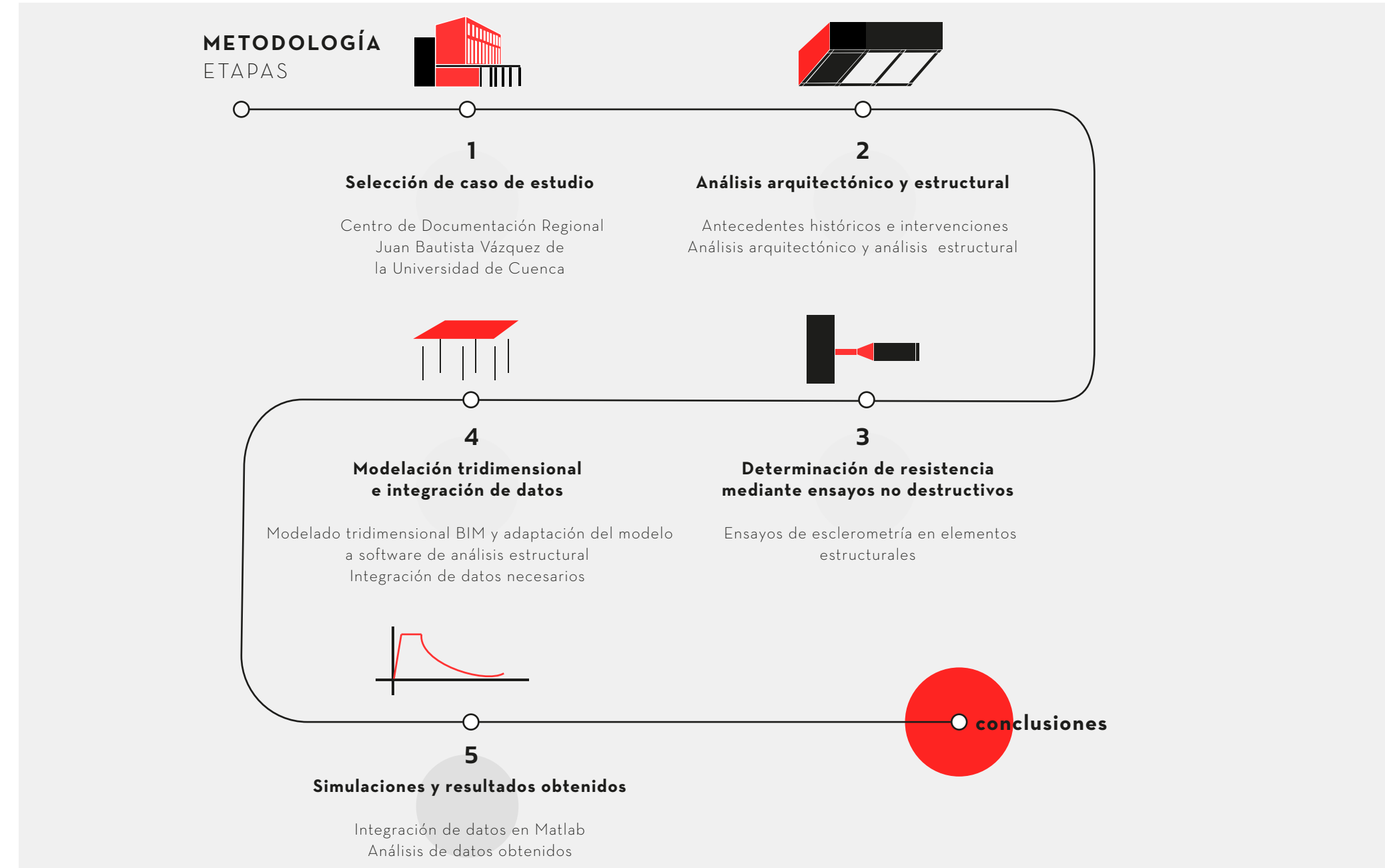
En base a la información estudiada anteriormente, los métodos analíticos más empleados (FEMA 310), sirvieron de sustento teórico para aproximar la investigación hacia la ejecución del análisis de vulnerabilidad sísmica. La metodología a aplicarse se seleccionó en base a los estudios descritos anteriormente en el marco teórico (ASCE, 1998; Degrande & García, 2017; Safina, 2003; NEC, 2014), con el objetivo de formular un proceso que permita ejecutar adecuadamente el análisis de vulnerabilidad sísmica.

El alcance de esta investigación se limita a la aplicación de dicha metodología en una edificación en particular: el Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vázquez de la Universidad de Cuenca, en la ciudad de Cuenca, Ecuador para identificar las zonas seguras de ocupación en caso de riesgo. Como producto final de esta investigación, se presenta un manual práctico de aplicación de dicha metodología.

La metodología expuesta resume su proceso en 5 pasos principales, ejemplificados en la figura 2.1 y se detallan sus objetivos a continuación:

- **Etapas**
1
Selección de caso de estudio
Centro de Documentación Regional
Juan Bautista Vázquez de
la Universidad de Cuenca
- **Etapas**
2
Análisis arquitectónico y estructural
Antecedentes históricos e intervenciones
Análisis arquitectónico y análisis estructural
- **Etapas**
3
Determinación de resistencia mediante ensayos no destructivos
Ensayos de esclerometría en elementos
estructurales
- **Etapas**
4
Modelación tridimensional e integración de datos
Modelado tridimensional BIM y adaptación del modelo
a software de análisis estructural
Integración de datos necesarios
- **Etapas**
5
Simulaciones y resultados obtenidos
Integración de datos en Matlab
Análisis de datos obtenidos

Figura 2.1 Esquema resumen de la metodología. Gráfico realizado por Morochó & Sarmiento (2020).





1 SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

Según la normativa NEC: Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras (2013) se debe realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica a edificaciones que se relacionan directamente con una mayor probabilidad de afección debido a las siguientes causas:

- A las edificaciones emplazadas en el territorio ecuatoriano y que se localicen en ciudades con alta peligrosidad sísmica.
- A edificaciones construidas previo a la promulgación de códigos de construcción.
- A las edificaciones que a lo largo de su vida, han sido reformadas o ampliadas.
- A las edificaciones que han sufrido un cambio en el tipo de uso.
- A edificaciones de ocupación especial, que no pueden cesar sus actividades luego de un sismo: hospitales, centros educativos, edificaciones de bomberos, diversas instituciones de socorro, destacamentos militares y de policía o gobierno.
- A las edificaciones que no han sido diseñadas apropiadamente bajo criterios de diseño estructural.

Con estos antecedentes, se ha seleccionado una edificación del Campus Central de la Universidad de Cuenca, un edificio de gran escala y ocupación para la ciudad y la comunidad universitaria: **El Centro de Documentación Regional “Juan Bautista Vázquez”**.

La edificación seleccionada cumple con varias de las condicionantes de alerta mencionadas por la normativa NEC, siendo:

- Una edificación emplazada en un entorno con peligrosidad sísmica.
- Una edificación construida previo a la promulgación de códigos de construcción.
- Una edificación que ha sido reformada y ampliada.

Si bien este centro no cumple la condición de ser un edificio de ocupación prioritaria, su carácter público, su área y su capacidad de albergar a gran aforo, la convierte en una zona de especial atención ante eventuales catástrofes naturales. La evaluación de vulnerabilidad sísmica de este bien contribuirá a la generación de planes de respuesta emergente para minimizará la pérdida de vida y daños económicos causados por afección a los materiales y elementos estructurales.



Figura 2.2 Fotografía del Centro de Documentación Juan Bautista Vázquez. Archivo histórico y fotográfico del Centro de Documentación Regional «Juan Bautista Vázquez». Año 2005.



2 ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL

2.1 Antecedentes históricos e intervenciones en la edificación

La reseña histórica expuesta a continuación fue tomada de los documentos del archivo histórico del Centro De Documentación Juan Bautista Vázquez.

La primera Biblioteca Pública del Azuay fue creada el 24 de mayo de 1882 en la Universidad de Cuenca, la cual adoptó el nombre de Juan Bautista Vázquez en el año 1925 en honor a su fundador.

A partir de 1990, la Biblioteca de la Universidad de Cuenca pasa a formar parte de la Red de Bibliotecas Universitarias promovida por el Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas CONUEP. Este proyecto significó el inicio del proceso de automatización del sistema bibliotecario universitario, consolidando su organización y sistematización con la visión de generar servicios y recursos de información con personal capacitado y medios que apoyen el proceso de desarrollo académico en el contexto de la educación y la investigación.

La primera edificación que alberga la biblioteca se construye durante el periodo de dirección universitaria del Dr. Jaime Astudillo y el Ing. Fabián Carrasco, la cual se puede observar en la fotografía 2.3 que data del año 1964.

A partir del mes de agosto de 1996 se empezó a diseñar el proyecto de creación del Centro de Documentación Regional “Juan Bautista Vázquez”.

Con la consolidación de esta edificación, inaugurada el 11 de noviembre del 2004, se unen físicamente todas las bibliotecas del Campus Central, las cuales se encontraban fragmentadas por facultades en diversos espacios físicos: (Biblioteca General, de Filosofía, Jurisprudencia, Economía, del Área Técnica: Arquitectura, Ingeniería y Química). A partir de la creación de este espacio, se implementan diversos servicios al público, entre ellos: estantería abierta, préstamo externo, servicio de internet, hemeroteca, reprografía y servicio de seguridad.

Con el transcurso del tiempo, el crecimiento del campus y la demanda de espacio, se ha visto la necesidad de ampliar las instalaciones del Centro de Documentación, hasta finalmente llegar a la edificación actual. A continuación se expondrán fotografías históricas y planos que evidencian las etapas de ampliación de la edificación.

Figura 2.3 Fotografía del Centro de Documentación Juan Bautista Vázquez. Fondo fotográfico: Dr. Miguel Díaz Cueva. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. 13 de marzo de 1964. «La biblioteca de la ciudad universitaria»





Centro Documental: Primera edificación año 1964

Los registros de la primera edificación del Centro documental datan aproximadamente del año 1964.

La planta visualizada en la figura 2.5 muestra la planta existente de la primera edificación del Centro de Información Documental. En este espacio existen aproximadamente 490 m2 que constan de áreas administrativas, de archivo y salas de lectura. Adicionalmente a esta planta, constan dos niveles superiores de estanterías los cuales se localizan sobre la zona de atención a estudiantes.

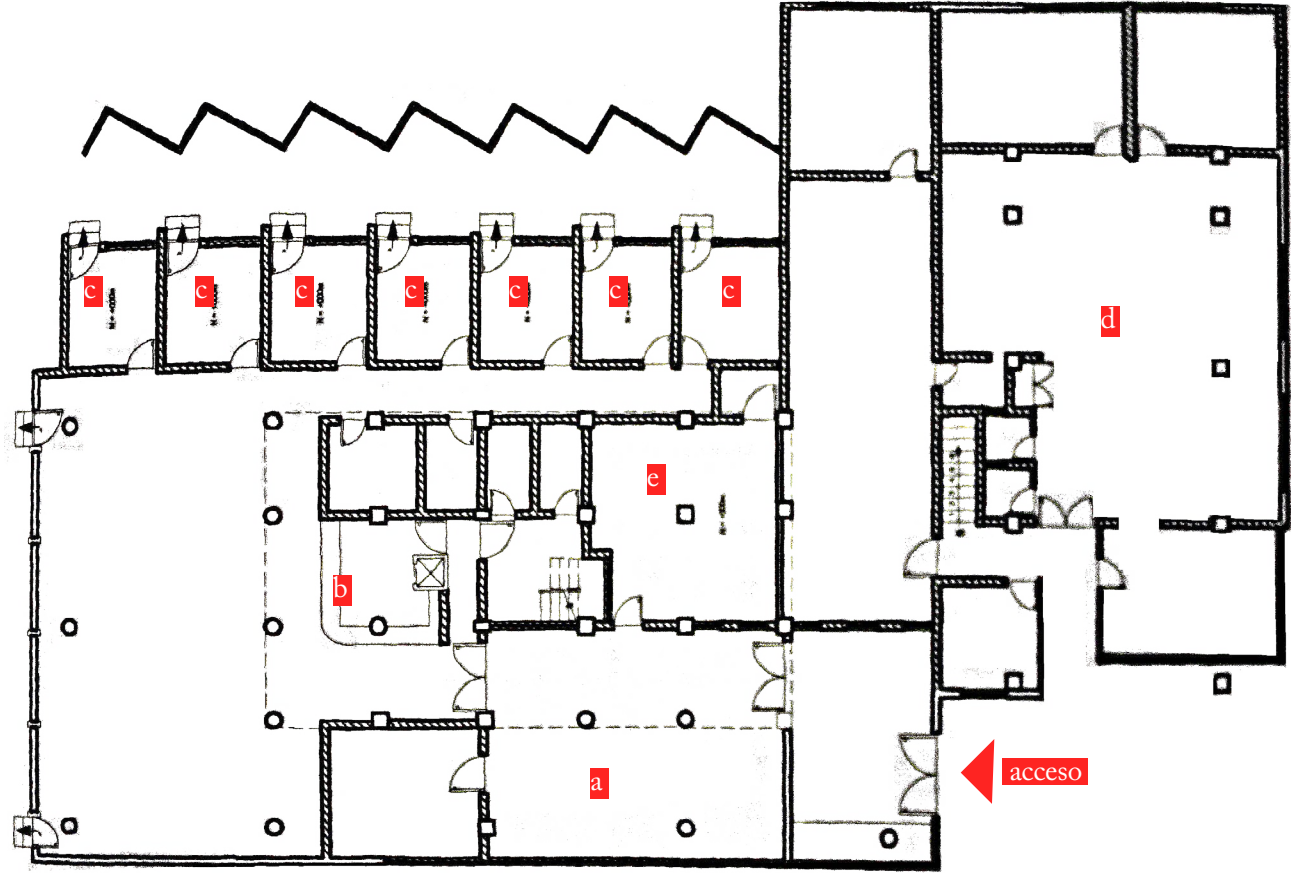
Figura 2.4 Fotografía del Centro de Documentación Juan Bautista Vásquez. Fondo fotográfico: Dr. Miguel Díaz Cueva. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. 13 de marzo de 1964. «La biblioteca de la ciudad universitaria»



Planta Baja - Nivel +0,20

- a** vestíbulo
- b** atención al público
- c** salas de lectura
- d** zona administrativa
- e** archivo

Figura 2.5 Planos del primer proyecto del Centro de Documentación Juan Bautista Vásquez. Tesis: Residencia de obra en la ampliación del centro de información documental de la Universidad de Cuenca





Primera intervención arquitectónica: 2000-2004

Posteriormente, se realiza una primera intervención en el Centro Documental. La intención de este proyecto fue readecuar la parte existente y construir una área nueva en la parte sur de la edificación. La planificación de la obra inicia en el año 2000 y finaliza en el año 2004.

El diseño de la ampliación contempla la preservación de la tipología de la antigua edificación, manteniendo conceptos claros de racionalismo. La edificación fue diseñada para centralizar todas las bibliotecas del campus universitario, con un área de aproximadamente 1820 m², considerando la construcción nueva con la integración de estanterías abiertas, espacio de lectura, estanterías cerradas y un nuevo nivel de estantería.

La estructura de la edificación se mantiene y respeta a la conformación anterior y utilizando el mismo criterio de ocupación, se distribuye la nueva estructura que conserva luces de aproximadamente 6 metros. En la fotografía 2.6 se visualiza su ampliación en altura de hasta 3 pisos. Las fotografías expuestas datan del año 2005.

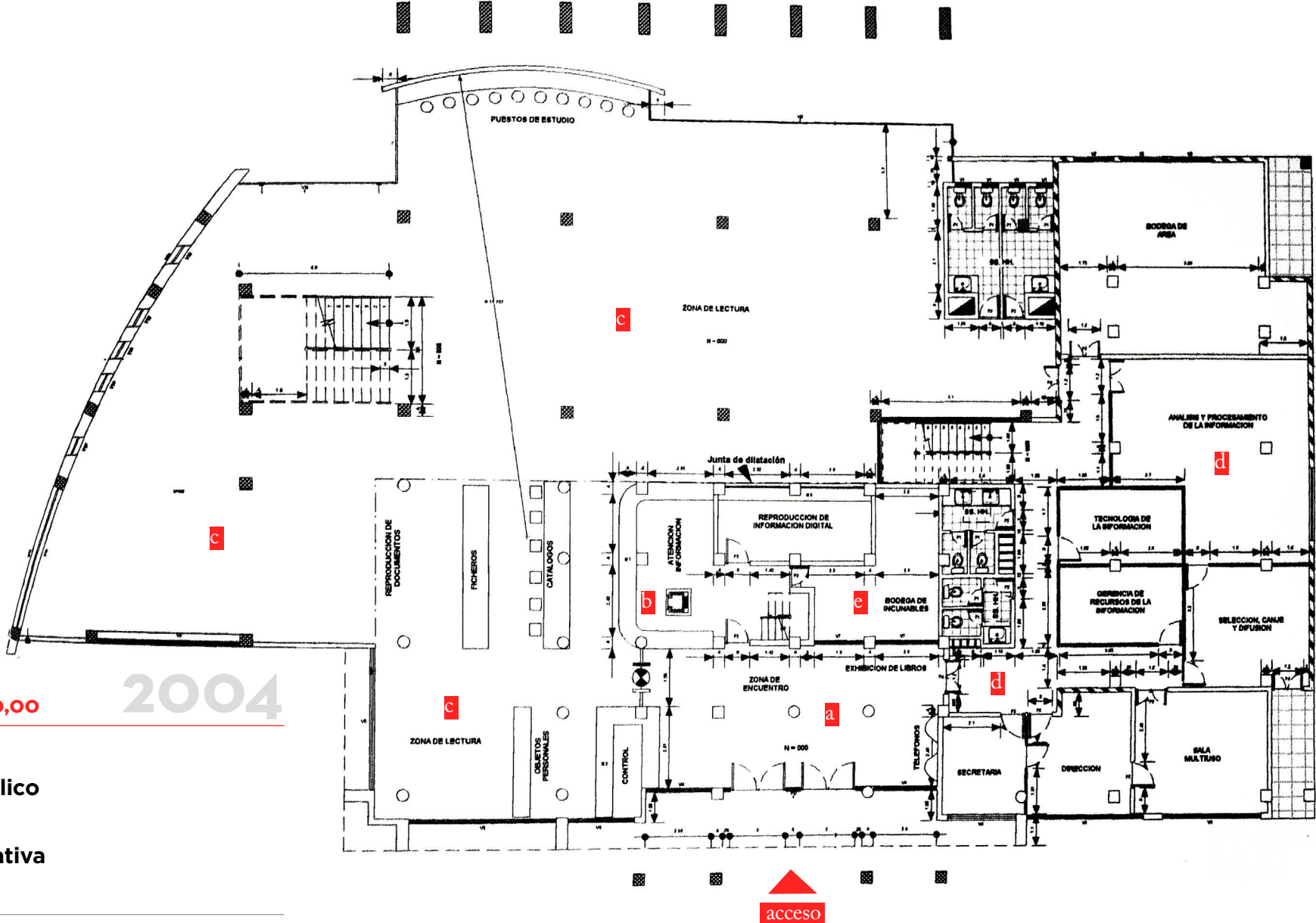
Figura 2.6 Fotografía del Centro de Documentación Juan Bautista Vásquez. Archivo histórico y fotográfico del Centro de Documentación Regional «Juan Bautista Vásquez». Año 2005.



Planta Baja - Nivel +0,00

- a vestíbulo
- b atención al público
- c zona de lectura
- d zona administrativa
- e archivo

Figura 2.7 Planos del proyecto de ampliación del Centro de Documentación Juan Bautista Vásquez. Tesis: Residencia de obra en la ampliación del centro de información documental de la Universidad de Cuenca.





Segunda intervención arquitectónica: 2015

En el año 2015 para dar respuesta a la demanda de usuarios, el Centro Documental Regional Juan Bautista Vázquez decide ampliar sus instalaciones, habilitando un cuarto piso.

Con esta adecuación se implementaron 198 nuevos espacios de estudio, teniendo finalmente una capacidad total de 698 usuarios. La infraestructura renovada ofrece al público un espacio multifuncional, con libros impresos y material de consulta digital. En la actualidad, a diario, este centro acoge aproximadamente entre 3000 y 4000 usuarios, convirtiéndolo en un espacio abierto a la colectividad y uso de toda la región.

Actualmente el centro cuenta con un fondo bibliográfico de 140,000 ejemplares, más de 200,000 archivos de documentos en todas las áreas del conocimiento, 8500 libros patrimoniales, un repositorio institucional digital, sistema de catálogos y consulta electrónica y bases de datos científicos para consultas y salas de archivos históricos.

Figura 2.8 Imagen actualizada del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Fotografía tomada por Morochó & Sarmiento (2020).

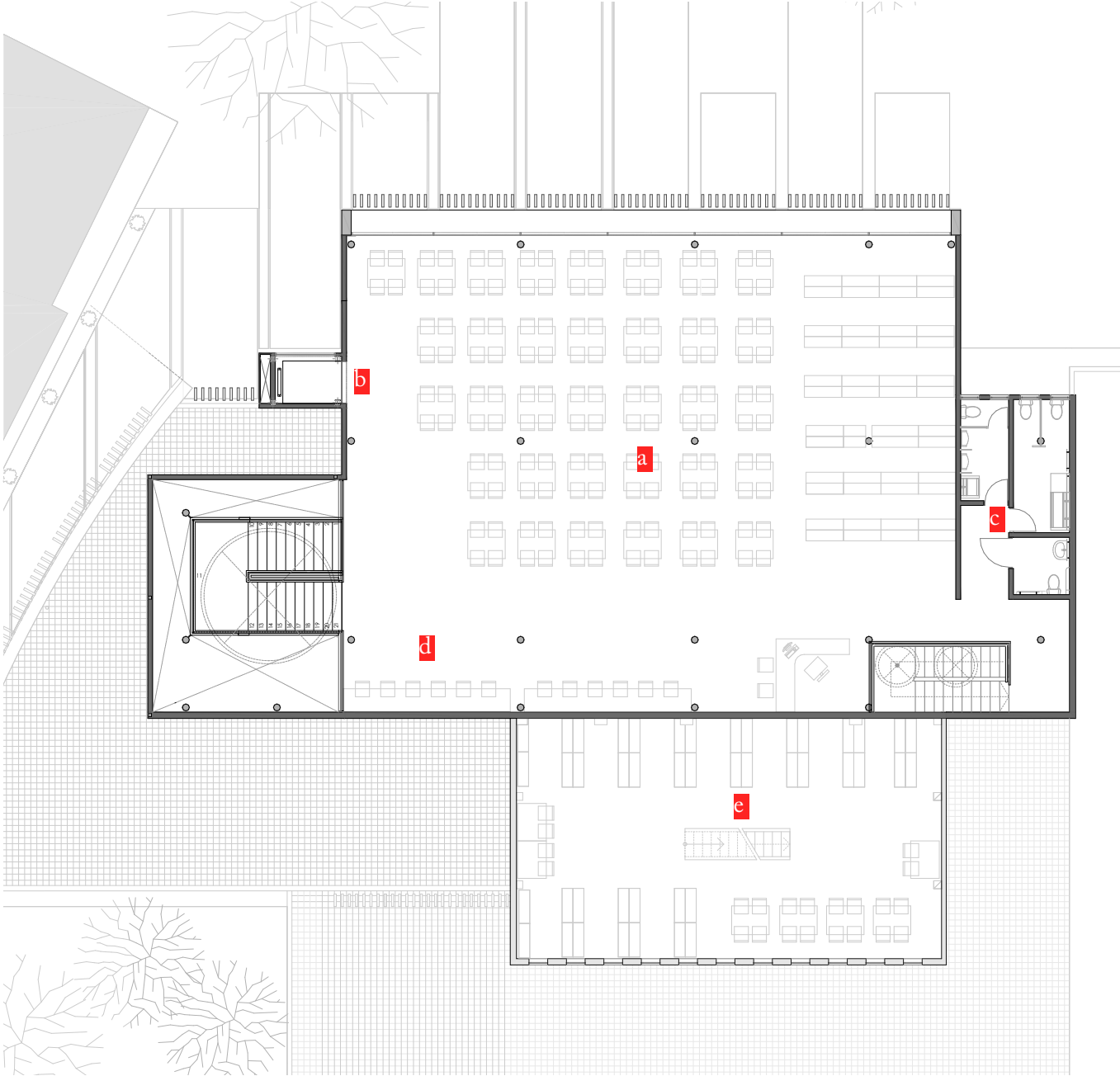


3era Planta Alta - Nivel +11,40

2015

- a zona de lecturas
- b ascensor
- c baños
- d atención al público
- e estantería

Figura 2.9 Planos del Anteproyecto de Ampliación del Centro de Documentación Regional «Juan Bautista Vázquez». Año 2015. Archivos proporcionados por la UPF de la Universidad de Cuenca.





⁷⁴ En conclusión y según los datos recopilados, al existir un registro fotográfico desde el año 1964, se podría decir que la edificación posee aproximadamente 56 años de antigüedad hasta la fecha.

Por lo tanto se delimitan 3 etapas diferenciadas de consolidación del edificio:

Primera edificación

Aproximadamente 1964 - Planta baja y estanterías

Primera intervención arquitectónica

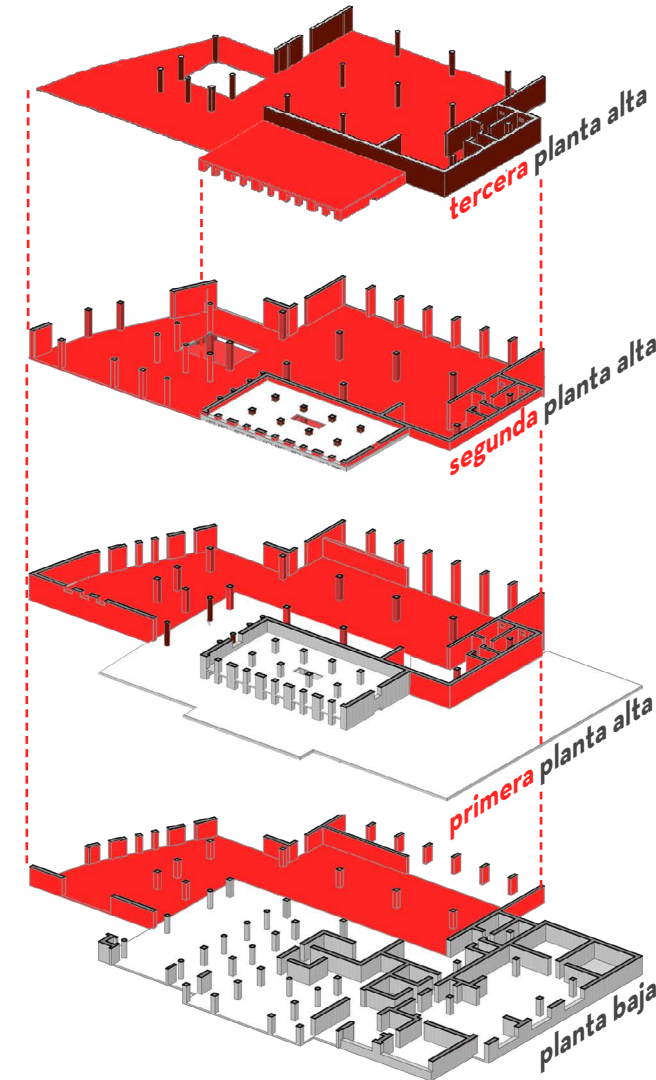
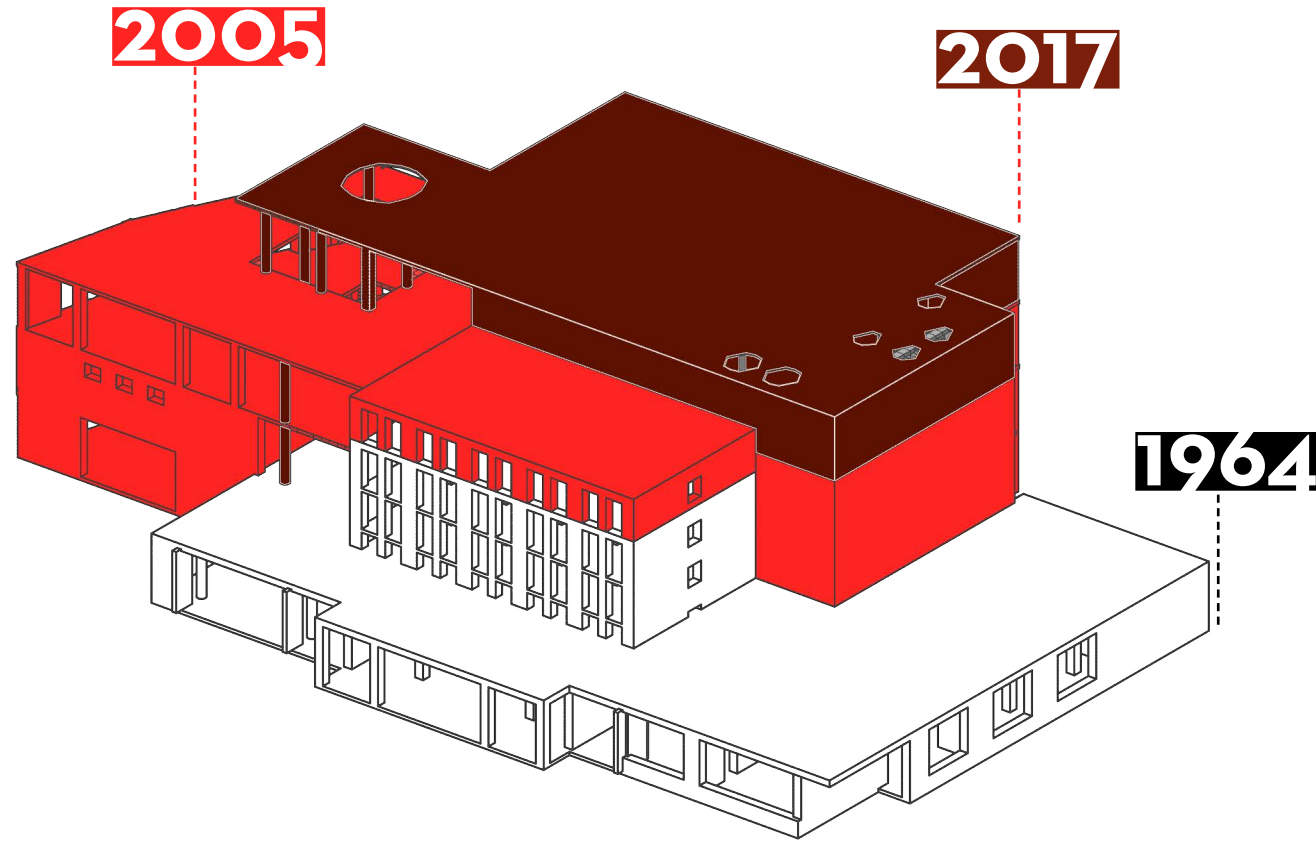
Año 2005 - Primera y segunda planta alta

Segunda intervención arquitectónica

Año 2017 - Tercera planta alta

Debido a que esta edificación fue construida en diversas etapas muy diferenciadas de épocas y por la calidad de materiales empleados en sus diversas ampliaciones, es necesario realizar un levantamiento arquitectónico y estructural, con la finalidad de actualizar los planos existentes y verificar posibles variantes en contraposición a lo propuesto en etapa proyectual. Los planos expuestos a continuación contienen la información actualizada levantada durante este trabajo de titulación.

Figura 2.10 Esquema que resalta las diversas intervenciones en la edificación. Modelo tridimensional y adaptación gráfica realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



2.2 Levantamiento y documentación del estado actual de la edificación

La documentación expuesta a continuación resulta del proceso de actualización de planos existentes de la edificación del Centro Documental Regional Juan Bautista Vásquez.

Durante esta etapa se procedió a verificar y contrastar la información existente en los planos proporcionados y lo ejecutado en sitio, ya que los planos de diseño pudieron sufrir eventuales cambios que alteraron a la propuesta original, en la fase de construcción y ampliación.

El levantamiento y actualización de planos incluye:

- Verificación de la dimensión existente entre elementos estructurales (columna a columna en ejes estructurales).
- Verificación de la sección de columnas existentes.
- Registro, codificación y verificación de elementos estructurales.
- Verificación de la continuidad de elementos estructurales existentes.

- Verificación de rigidez de elementos de mampostería: se determina qué elementos son estructurales y cuales no.
- Verificación de las dimensiones de los vanos y aberturas existentes en paredes.
- Verificación de los espesores de losas.

A continuación se presenta la documentación de planos arquitectónicos con la información actualizada que incluye la codificación y registro de los elementos estructurales y sus características.

Figura 2.11 Axonometría explotada que resalta las diversas intervenciones en la edificación en cada nivel. Modelo tridimensional y adaptación gráfica realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



Planta Baja Nivel 0,00

Al realizar el proceso de levantamiento arquitectónico, se verifica que la planta baja de la edificación contiene un total de 83 columnas. Se tomó la dimensión de todos los elementos con la finalidad de realizar un recuento de las medidas más comunes y agruparlas según el promedio de las secciones similares, para obtener la media y desviación estándar. Para verificar todos los datos obtenidos, revisar Anexo 1.

Procedimiento:

- 1) Agrupar elementos estructurales de similar dimensión.
- 2) Calcular el promedio de las dimensiones.
- 3) Calcular la media en función a los promedios obtenidos.
- 4) Calcular la desviación.
- 5) La suma y diferencia de la desviación a la media, determina el rango de asignación de grupo.

ejemplo de cálculo

Tabla 2.1: Ejemplo de Grupo 1

# de elemento	y	x	Promedio
1	35	34,5	34,75
8	35	34,8	34,9
15	35,7	35,7	35,7
9	35	35,6	35,3

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N}$$

Suma de componentes	140,65
# de componentes	4

media	35,1625
-------	---------

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

desviación	0,427
------------	-------

rango desviación media

34,74	
35,59	
35,2	

Tabla 2.1 Ejemplo del procedimiento de cálculo de asignación de grupos de elementos estructurales, Grupo 1. Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.2: Levantamiento de Columnas Planta Baja Nivel +0,00							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
2	44,00	44,40	44,20	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
3	44,40	44,60	44,50	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
4	44,00	44,50	44,25	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
5	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
9	35,00	35,60	35,30	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
12	41,50	39,40	40,45	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
13	37,20	38,70	37,95	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
15	35,70	35,70	35,70	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
16	44,50	43,70	44,10	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
19	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
20	40,00	40,00	40,00	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
22	36,60	40,00	38,30	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
24	39,50	39,50	39,50	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
25	34,80	35,60	35,20	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
28	38,80	39,30	39,05	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
30	40,00	35,50	37,75	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
33	43,00	34,50	---	43x34	Grupo 7	Si	Aplica
35	39,00	38,80	38,90	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
40	37,70	36,40	37,05	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
41	37,30	38,70	38,00	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
43	39,10	35,70	37,40	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
44	38,30	35,80	37,05	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
45	38,90	36,00	37,45	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
50	30,00	38,00	---	32x38	Grupo 6	Si	Aplica
54	40,40	37,10	38,75	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
55	40,00	38,90	39,45	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
60	40,00	38,30	39,15	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
63	42,20	39,20	40,70	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
64	42,10	41,90	42,00	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
65	36,60	38,80	37,70	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
67	35,30	34,70	35,00	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
68	35,20	34,70	34,95	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
69	34,80	35,40	35,10	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
70	35,30	34,70	35,00	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
73	100,00	44,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
74	102,00	43,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
75	104,00	43,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
76	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
78	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
80	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
82	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
83	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica

planta baja nivel +0,00

numeración

- 01 *columnas que no fueron sometidas a ensayo*
- 02 *columnas que fueron sometidas a ensayo*

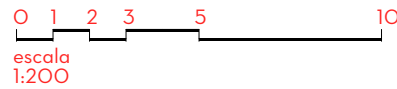


Figura 2.13 Planta Baja - Nivel 0.00. Planos actualizados de la edificación del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Levantamiento arquitectónico y digitalización realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



78 primera planta alta
nivel +3,80

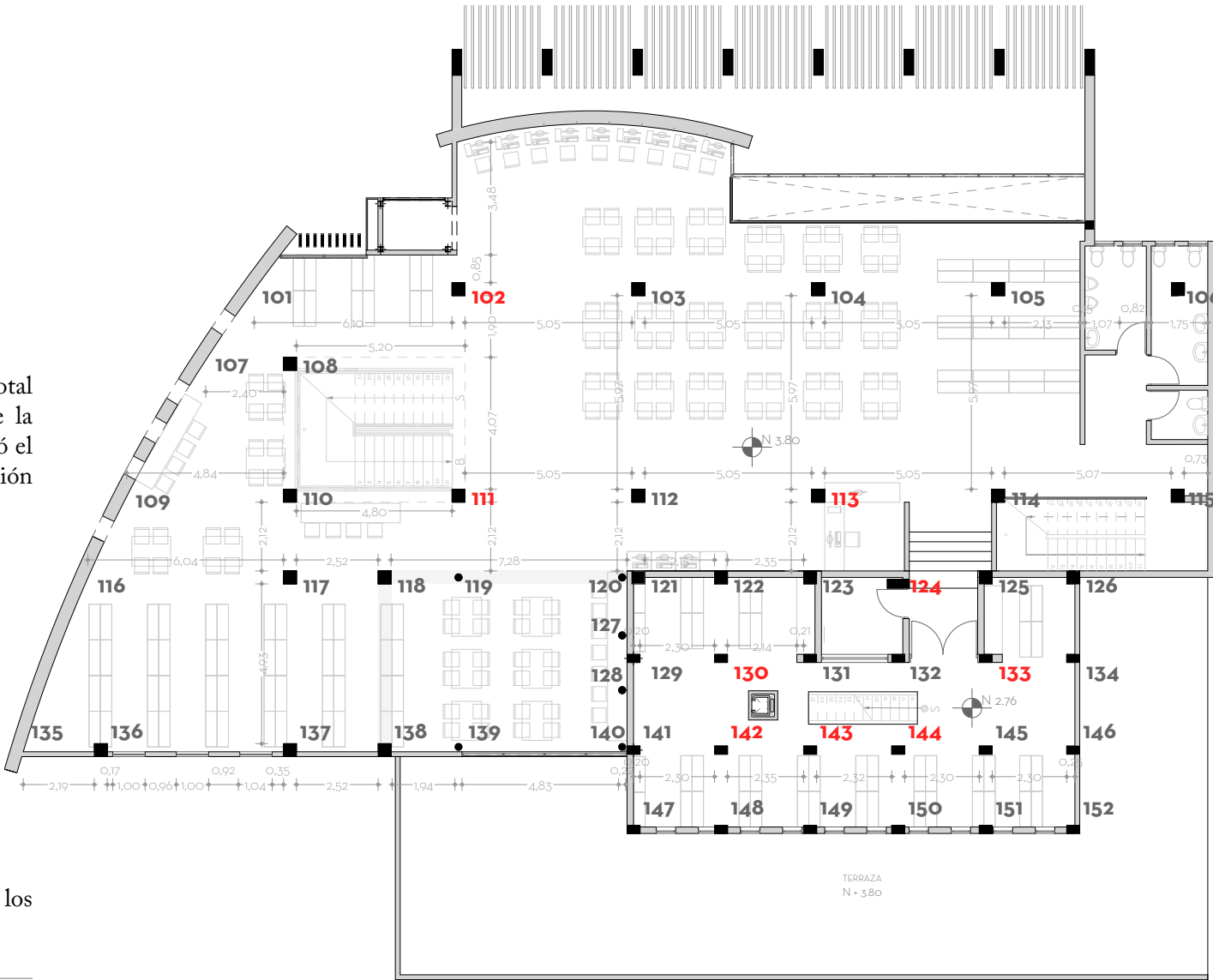
En la primera planta alta se constató que existe un total de 52 columnas, las cuales están distribuidas entre la zona de lectura y la estantería a nivel +2,76. Se aplicó el mismo método de agrupación de columnas y definición de grupos, descrito anteriormente.

Tabla 2.3: Levantamiento de Columnas 1era Planta Alta Nivel +3,80							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
102	44,00	44,40	44,20	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
111	44,50	43,70	44,10	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
113	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
124	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
130	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
133	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
142	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
143	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
144	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica

Para constatar la información correspondiente a los demás elementos estructurales, remitirse al Anexo 2.

Tabla 2.3 Levantamiento de columnas de la Primera Planta Alta - Nivel +3.80.

Figura 2.14 Primera Planta Alta - Nivel +3.80. Planos actualizados de la edificación del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Levantamiento arquitectónico y digitalización realizada por Morochó & Sarmiento (2020).



primera planta alta + estantería
nivel +3,80 nivel +5,57

En la edificación existe un nivel intermedio de estantería cerrada, al cual se accede desde las escaleras de administración, proyectado a continuación.

Tabla 2.4: Levantamiento de Columnas 1era Planta Alta + Estantería Nivel +5,57

#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
153	51,60	25,20		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
154	28,20	68,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
155	27,60	66,90		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
156	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
157	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
158	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
159	51,30	24,80		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
160	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
161	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
162	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
163	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
164	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
165	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
166	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
167	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
168	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
169	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
170	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
171	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
172	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
173	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
174	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica

Tabla 2.4 Levantamiento de columnas de la Primera Planta Alta - Nivel +3.80 + Estantería - Nivel +5,57. Morochó & Sarmiento (2020).

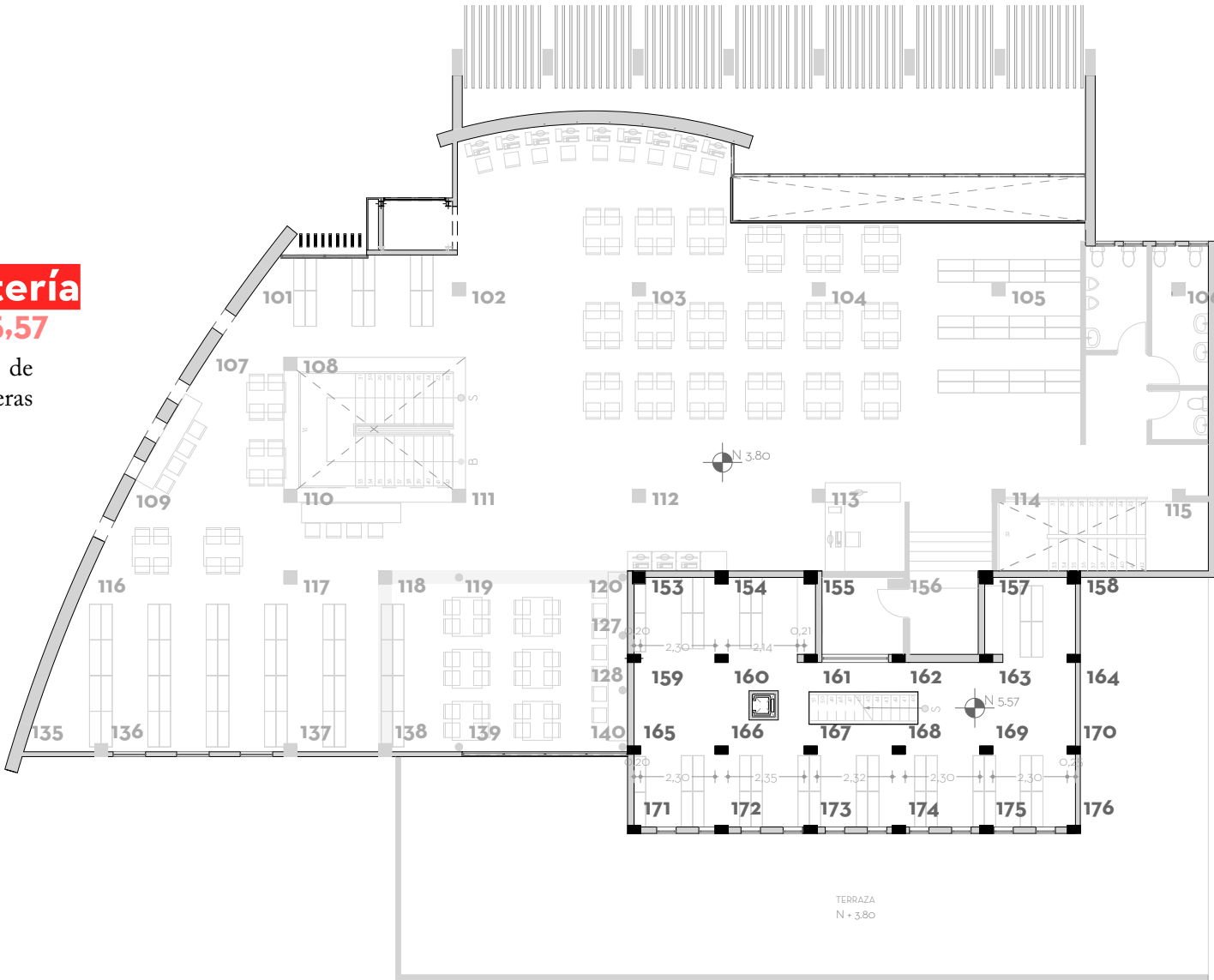


Figura 2.15 Primera Planta Alta - Nivel +3.80 + Estantería - Nivel +5.57. Planos actualizados de la edificación del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Levantamiento arquitectónico y digitalización realizada por Morochó & Sarmiento (2020).



80 **segunda planta alta**
nivel +7,60

En la segunda planta alta, se procede a verificar los elementos estructurales existentes y su continuidad con los elementos correspondientes a las plantas inferiores.

Tabla 2.5: Columnas 2da Planta Alta Nivel +7,60							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
222	51,60	25,20		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
223	28,20	68,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
224	27,60	66,90		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
225	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
226	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
230	51,30	24,80		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
231	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
232	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
233	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
234	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
235	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
242	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
243	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
244	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
245	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
246	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
247	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
248	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
249	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
250	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
251	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
252	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica

Tabla 2.5 Levantamiento de columnas de la Segunda Planta Alta - Nivel +7,60.

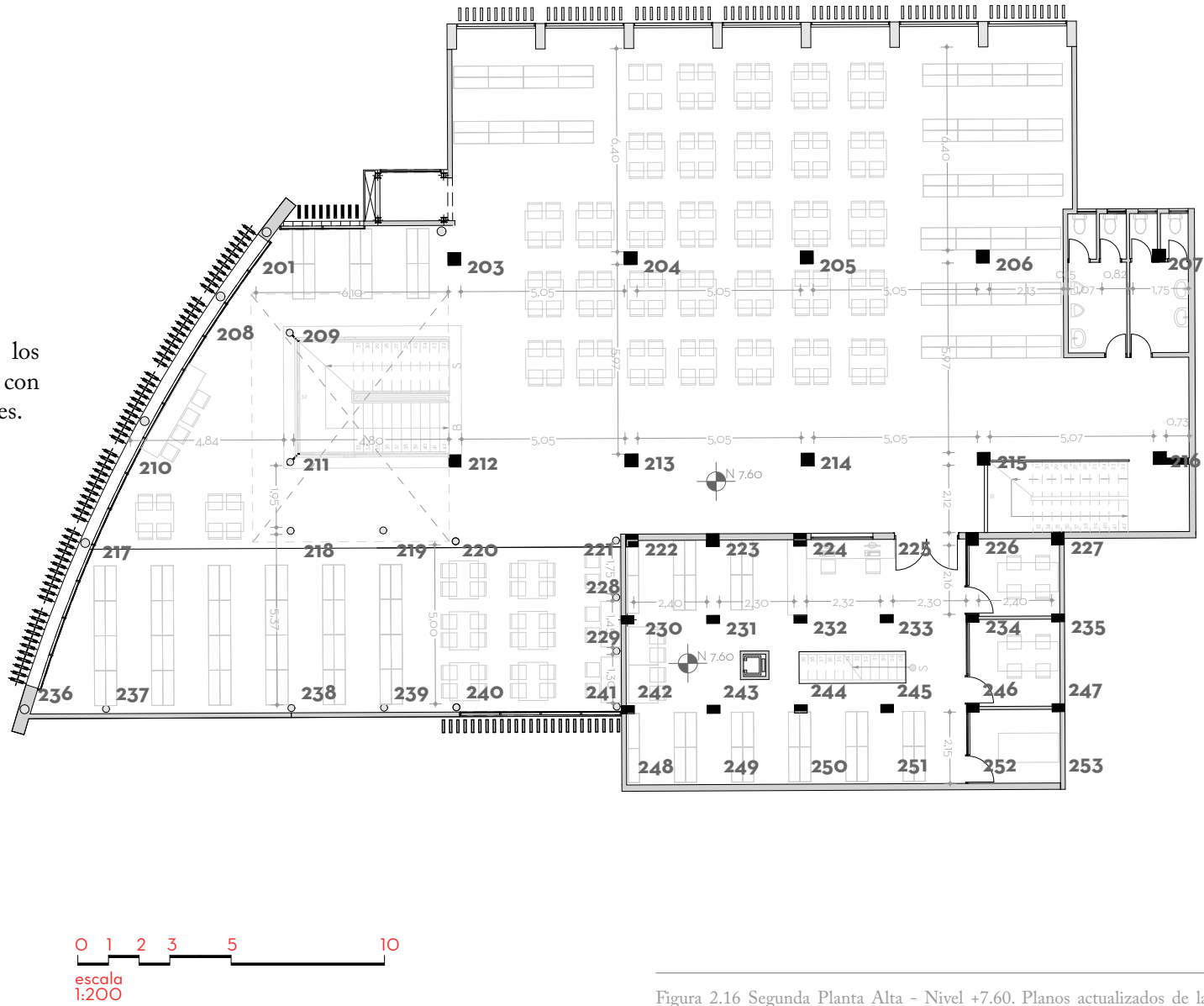


Figura 2.16 Segunda Planta Alta - Nivel +7.60. Planos actualizados de la edificación del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Levantamiento arquitectónico y digitalización realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



tercera planta alta
nivel +11,40

En la tercera planta alta se verifican los elementos estructurales. Al ser el último nivel de intervención en la edificación, la mayoría de elementos estructurales son metálicos.

Tabla 2.6: Columnas 3era Planta Alta Nivel +11,40							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
334	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
335	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
340	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
341	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
342	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
343	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
344	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
345	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica

La estantería que se encuentra al mismo nivel que la tercera planta alta, tiene su acceso únicamente por el nivel inferior perteneciente a la estantería de la segunda planta alta, es decir, estos niveles no se encuentran conectados directamente entre si. Para verificar la información de los elementos restantes, remitirse al Anexo 3.

Tabla 2.6 Levantamiento de columnas de la Tercera Planta Alta - Nivel +11,40.

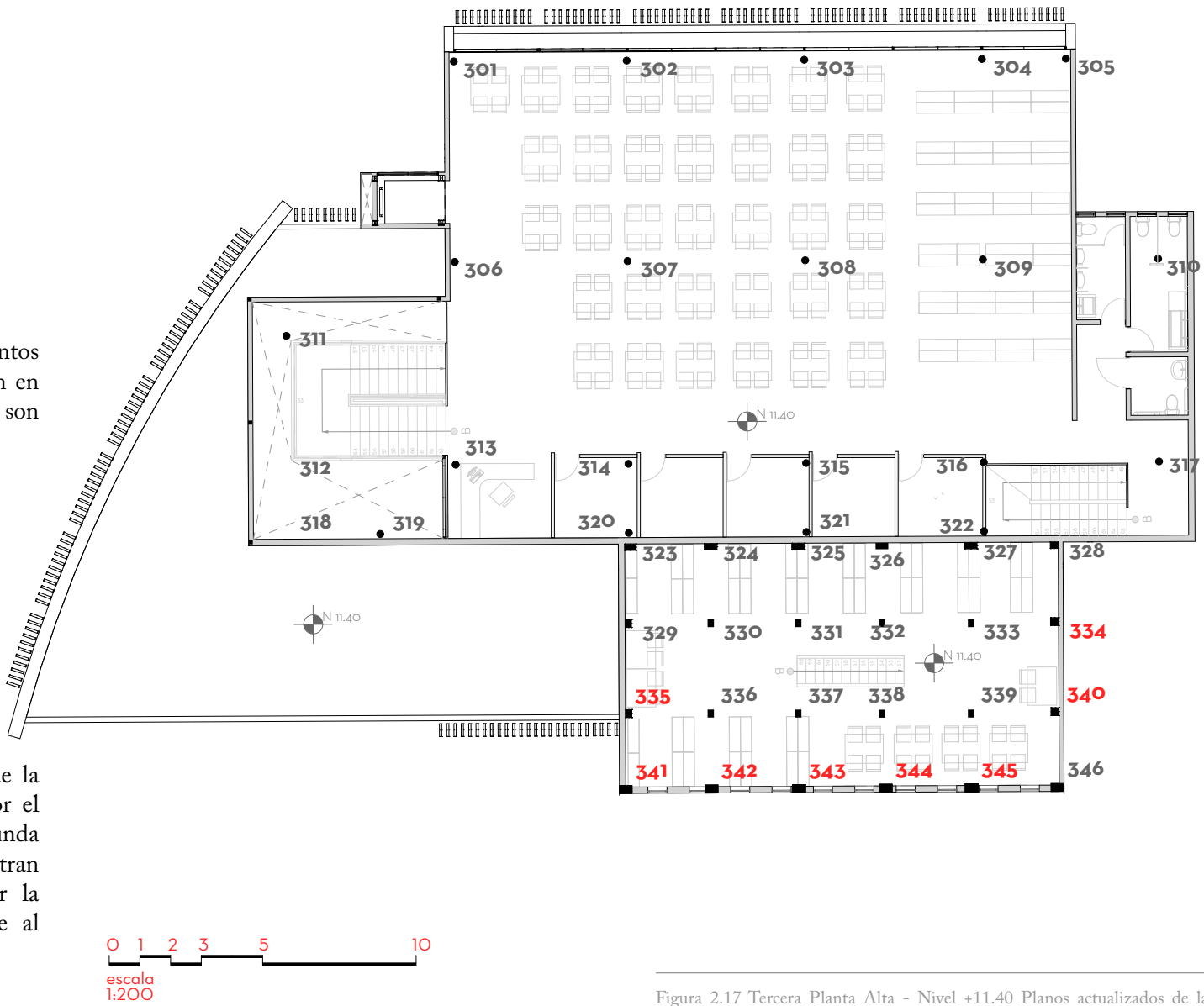


Figura 2.17 Tercera Planta Alta - Nivel +11.40 Planos actualizados de la edificación del Centro de Documentación Regional Juan Bautista Vásquez. Levantamiento arquitectónico y digitalización realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

3 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



Una vez realizado el levantamiento estructural y con la finalidad de optimizar el manejo de datos en el modelo, se realizaron diversos grupos de columnas. Dicho proceso está detallado anteriormente en la Tabla 2.1. La totalidad de grupos existentes se visualizan en la Tabla 2.7.

Al tener identificados todos los elementos estructurales de la edificación y al establecer los grandes grupos existentes, se procede a realizar la determinación de la resistencia de una muestra representativa de columnas de todo el sistema para integrar dichos datos al modelo.

Etapas

- 1) Identificación de los elementos
- 2) Selección de la muestra a someterse a ensayo*
- 3) Preparación del equipo
- 4) Preparación del área de prueba
- 5) Procedimiento
- 6) Cálculos y reporte de resultados

**Las limitaciones de tiempo y accesibilidad al predio universitario por la emergencia sanitaria vigente afectaron al desarrollo y planificación regular del estudio, limitando el alcance del ensayo.*

Etapas 1: Identificación de los elementos estructurales

Del total de elementos existentes se procede a identificar a cada columna según el tipo de grupo (Tabla 2.7).

Etapas 2: Selección de la muestra a someterse a ensayo

Del total existente de cada grupo de columnas, se procede a elegir una muestra representativa del número total. La selección de elementos se vio determinada fuertemente por:

- La condición de afectar en lo mínimo la estética e integridad de los acabados.
- La ubicación y configuración de ciertos elementos estructurales que imposibilitaba la toma de muestra.
- Omisión de las columnas circulares de hormigón armado y los perfiles estructurales metálicos, ya que por sus propiedades geométricas y características de materialidad no se someten a ensayo esclerométrico.


















Tabla 2.7: Grupos de Columnas					
Grupo	Sección	Material	y (cm)	x (cm)	d (cm)
Grupo 1		Hormigón armado	35,20	35,20	
Grupo 2		Hormigón armado	37,50	37,50	
Grupo 3		Hormigón armado	39,10	39,10	
Grupo 4		Hormigón armado	41,00	41,00	
Grupo 5		Hormigón armado	44,20	44,20	
Grupo 6		Hormigón armado	38,00	32,00	
Grupo 7		Hormigón armado	43,00	34,00	
Grupo 9		Hormigón armado	80,00	30,00	
Grupo 10		Hormigón armado	100,00	42,00	
Grupo 11		Hormigón armado			38,50
Grupo 12		Hormigón armado			39,40
Grupo 13		Hormigón armado	38,50	24,70	
Grupo 14		Hormigón armado	52,50	25,00	
Grupo 15		Hormigón armado	28,00	68,00	
Grupo 16		Metal			69,50
Grupo 17		Metal			60,00
Grupo 18		Metal	10,00	10,00	

Tabla 2.7 Levantamiento de columnas de la Segunda Planta Alta - Nivel +7.60. Morocho & Sarmiento (2020).

La Tabla 2.8 visualiza la cantidad de elementos estructurales que fueron sometidos a ensayos esclerométricos según su tipo de grupo. La selección de los elementos se realiza estratégicamente para obtener una cantidad representativa de cada grupo.

Tabla 2.8: Toma de muestras - Ensayos Esclerométricos por grupos			
Grupo	Sección	# de elementos	# de muestras tomadas
Grupo 1	35,2	19	7
Grupo 2	37,5	16	7
Grupo 3	39,1	13	7
Grupo 4	41,0	9	4
Grupo 5	44,2	28	9
Grupo 6	32x38	2	1
Grupo 7	41,0	2	1
Grupo 9	80x30	8	5
Grupo 10	100x42	5	3
Grupo 13	38,5x24,7	16	5
Grupo 14	52,5x25	32	5
Grupo 15	28x68	32	5
Total de muestras tomadas			60

Tabla 2.8 Levantamiento de columnas de la Segunda Planta Alta - Nivel +7.60. Morocho & Sarmiento (2020).

Normativa

Existen normativas que presentan instrucciones claras sobre este proceso y sirvieron de soporte para realizar adecuadamente dichos ensayos.

En el marco de la normativa vigente hasta la actualidad para la aplicación de ensayos esclerométricos, es necesario referirse a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 3121 - Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo. Las normativas que sirvieron de soporte para la realización de dicho documento, son la ASTM C 670, ASTM C 42, ASTM E 18, ACI 228.

Etapas 3: Preparación del equipo

Para iniciar adecuadamente la ejecución del ensayo, es necesario comprobar su funcionamiento en soporte con un yunque de verificación. En el caso de este estudio, dicho equipo fue previamente calibrado y preparado por el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Antes de someter la superficie a ensayo, la norma sugiere emplear piedra abrasiva, un carburo de silicio de textura de grano medio, con el cual se alisará la superficie de aplicación del ensayo. Sin embargo, este procedimiento NO se realiza en este caso, ya que se procura afectar en lo mínimo el acabado (Fig. 1.23c).

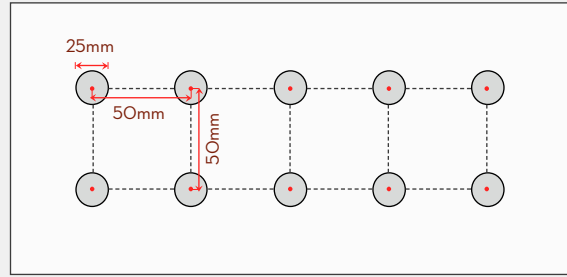


Figura 1.21 Gráfico ejemplo de los puntos de impacto en el área de ensayo. Realizado por Morocho & Sarmiento (2020).

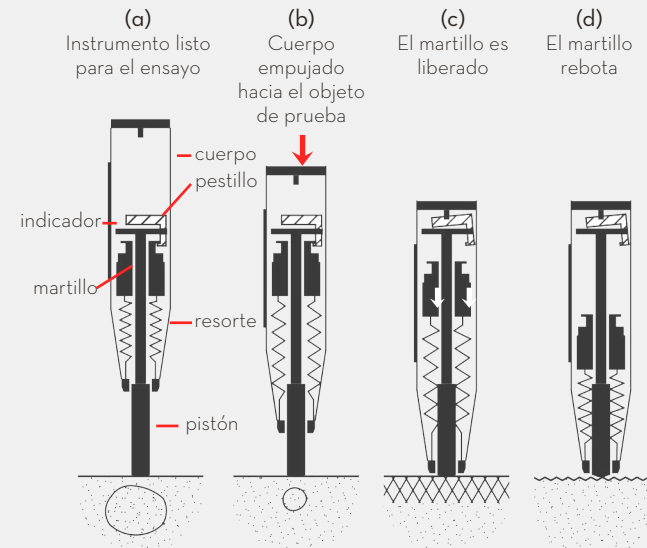
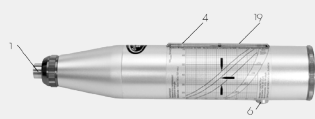


Figura 1.22 Esquema de la operación del esclerómetro. Gráfico recuperado de Métodos in situ para estimar la resistencia del hormigón - ACI 228.1R-03. Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

(a)

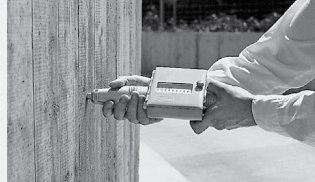


- 1) punzón de impacto
- 4) corredera con varilla de guía
- 6) botón, completo
- 19) ventana de plexiglás

(b)



(c)



(d)

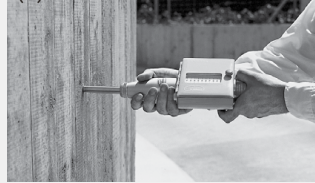


Figura 1.23 Imágenes referenciales de equipos y ensayo con esclerómetro Proceq (a) fotografía del instrumento (b) preparación del área de ensayo (c) colocación del equipo en el objetivo de prueba (d) rebote del martillo después del ensayo. Gráfico recuperado de Manual de operación del Martillo para ensayos de hormigón PROCEQ (2017).

Etapas 4: Preparación del área de prueba

Se debe tomar al menos 10 lecturas de cada área de prueba. Cada punto de impacto será de al menos 25mm y la distancia entre puntos de impacto en los bordes del miembro será como mínimo 50mm (Fig. 1.21).

Etapas 5: Procedimiento

- Sostener firmemente el instrumento en una posición que permita que el émbolo golpee perpendicularmente la superficie ensayada.
- Registrar la orientación del instrumento con respecto a la horizontal para el incremento de 45° más próximo. Incrementar gradualmente la presión sobre el émbolo. Empujar gradualmente el instrumento hacia la superficie de prueba hasta que el martillo impacte (Fig. 1.23c).
- Después del impacto, mantener presionado el instrumento, y si es necesario oprimir el botón lateral del instrumento para bloquear el émbolo en su posición retraída.
- Leer y anotar el número de rebote entero más cercano.



- Examinar la impresión hecha sobre la superficie después del impacto, y descartar la lectura si el impacto agrieta o rompe una superficie cercana con vacío.

Figura 2.10 Esquema que restalta las diversas intervenciones en la edificación. Modelo tridimensional y adaptación gráfica realizada por Morocho & Sarmiento (2020).



86 **Etap**a 6: Cálculos y reporte de resultados

Una vez obtenidas las lecturas de rebote, se debe descartar lecturas diferentes de la media de 10 lecturas por más de 6 unidades y determinar la media de las lecturas restantes. Si más de 2 lecturas difieren de la media por 6 unidades, se debe descartar todo el conjunto de lecturas y determinar los números de rebote a los 10 nuevos lugares dentro del área de prueba.

La tabla 2.9 expuesta a continuación, muestra un ejemplo de ensayos aplicados a las columnas de la edificación. Para revisar todos los datos obtenidos, remitirse al Anexo 2.

La interpretación de datos se realiza a partir de la tabla referencial existente en el equipo (Tabla 2.10), la cual traslada la información de número de rebotes a una resistencia en unidades de N/mm². Una vez finalizados los ensayos a los elementos indicados, se reporta la información obtenida en cada área de prueba.

En este caso, los ensayos fueron correctamente aplicados a todos los elementos estructurales resaltados en los niveles expuestos anteriormente. Cada elemento se identificó con una numeración y se encuentran resaltados en los planos arquitectónicos.

El reporte de todos los datos obtenidos considera:

- Identificación de la ubicación del área de prueba en la estructura.
- Tamaño del miembro de prueba.
- Información sobre el número de rebote.
- Números individuales de rebote.
- Media de rebote.

Para eficacia y síntesis del manejo de datos obtenidos se aplica el siguiente procedimiento:

- Realizar un registro de los elementos existentes por cada grupo.
- Obtener la media de resistencia (N/mm2) y módulo de elasticidad (GPa) de cada grupo.

Este procedimiento se aplicó al total de 60 ensayos realizados en la edificación.

Tabla 2.9: Ensayos modelo			
Ensayo 1		Ensayo 2	
Elemento	69	Elemento	68
Grupo 1		Grupo 1	
Lecturas		Lecturas	
1	28	1	24
2	26	2	24
3	25	3	20
4	24	4	22
5	25	5	25
6	26	6	27
7	24	7	24
8	29	8	24
9	24	9	23
10	27	10	20
Media	26	Media	23
ENSAYO VÁLIDO		ENSAYO VÁLIDO	

➔ identificación de elementos

➔ Lecturas de número de rebote por ensayo

➔ media de rebote

Tabla 2.10: Equivalencia del número de rebote a N/mm2			
R	O* (N/mm2)	R	O* (N/mm2)
20	-	30	20,6
21	-	31	21,6
22	10,8	32	23,3
23	11,8	33	24,5
24	12,7	34	25,5
25	13,7	35	27,5
26	15,5	36	28,4
27	16,2	37	30,4
28	17,7	38	31,4
29	18,6	39	33,3

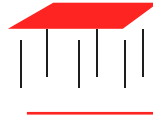
Tabla 2.9 Ejemplo de toma de lecturas de rebote en elementos estructurales.
Tabla 2.10 Tabla del equipo empleado para interpretación de resultados según el número de rebote.

La tabla expuesta a continuación muestra un ejemplo de los procesos realizados con la toma de datos del ensayo esclerométrico aplicado a los diferentes elementos seleccionados de la edificación. Según las agrupaciones de elementos existentes se obtiene el módulo de elasticidad. Dicho dato se empleará posteriormente en la integración de datos al modelo tridimensional.

Para visualizar todos los datos obtenidos, remitirse al Anexo 3.

Tabla 2.11 Tabla del cálculo de resistencia de elementos sometidos a ensayos. Planta Baja Nivel +0,00. Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.11: Cálculo de Resistencia de Elementos - Planta Baja Nivel +0,00						
Ensayo	Grupo de Elemento	Elemento	Media del Número de Rebote	Resistencia (N/mm2) (MPa)	Media de Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
21	Grupo 1	9	20	10,8	12,557	16,655
22	Grupo 1	15	20	10,8		
25	Grupo 1	25	21	10,8		
3	Grupo 1	67	26	15,5		
2	Grupo 1	68	23	11,8		
1	Grupo 1	69	26	15,5	21,360	21,722
4	Grupo 1	70	24	12,7		
27	Grupo 2A	13	26	15,5		
42	Grupo 2A	30	35	27,5		
28	Grupo 2A	40	33	24,5		
29	Grupo 2A	41	28	17,7	10,80	15,45
30	Grupo 2A	65	31	21,6		
24	Grupo 2	43	22	10,8		
25	Grupo 2	44	20	10,8		
26	Grupo 2	45	20	10,8		
36	Grupo 3	22	34	25,5	15,2714	18,3670
31	Grupo 3	24	29	18,6		
32	Grupo 3	28	21	10,8		
33	Grupo 3	35	22	10,8		
34	Grupo 3	54	22	10,8		
35	Grupo 3	55	23	11,8	18,6	
37	Grupo 3	60	29	18,6		



4 MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL E INTEGRACIÓN DE DATOS

En esta etapa se procede a realizar la elaboración del modelo estructural tridimensional, basado en la información previamente levantada (localización de elementos estructurales y configuración arquitectónica). Al realizar el modelo 3D en un software BIM, se grafican los elementos estructurales principales: vigas, columnas y losas para generar el modelo discreto de la edificación.

Etapas*

- 1) Identificación de elementos estructurales
- 2) Discretización de elementos estructurales
- 3) Revisión y adaptación de modelo
- 4) Traslado de sistema 3D o Modelo BIM a Software Aplicado al Cálculo de Estructuras

**El presente trabajo busca gran aproximación a la realidad, por este motivo, el modelo y los datos presentados a continuación hacen referencia a información verificada en sitio y el rango de mayor aproximación posible al modelo.*

Etapa 1 Identificación de elementos estructurales

Al haber realizado el registro de todos los elementos existentes en los distintos niveles, se procede a procesar la información existente en cada planta siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Establecer los ejes estructurales de la edificación, los cuales ayudarán a conectar todo el sistema soportante.
2. Identificar los elementos estructurales principales:
 - Columnas y vigas de hormigón armado y metal
 - Paredes portantes de mampostería
 - Losas
3. Eliminar los elementos que no se consideren estructurales ni relevantes para el modelo, como es el caso de: mobiliario, paredes no-portantes, dinteles de ventanas y puertas cuya carga no es representativa.*

**Para visualización de ejemplos y casos de elementos que podrían considerarse relevantes para el modelo, remitirse a la página 15 del Manual práctico de aplicación de análisis modal a edificaciones con integración de herramientas BIM.*

Etapa 2 Discretización de elementos

Para realizar el proceso de discretización de elementos estructurales, es necesario generar una malla modular que permita regularizar la configuración espacial de todo el modelo. Para este caso de estudio, se propone:

- Una malla modular de 40 x 40 cm para los elementos bidimensionales de piso (losas)
- Una malla modular de 40 x 20 cm para los elementos bidimensionales como paredes (muros de mampostería)

Estas dimensiones se proponen con la finalidad de que exista una correcta conectividad entre los mismos. Por medio de esta segmentación los elementos se integrarán adecuadamente para obtener las deformaciones e información del comportamiento ante un movimiento telúrico.

La discretización de elementos estructurales, sintetiza el modelo en dos sistemas:

- **Elementos Lineales:** Vigas y columnas
- **Elementos Bidimensionales:** Losas y paredes

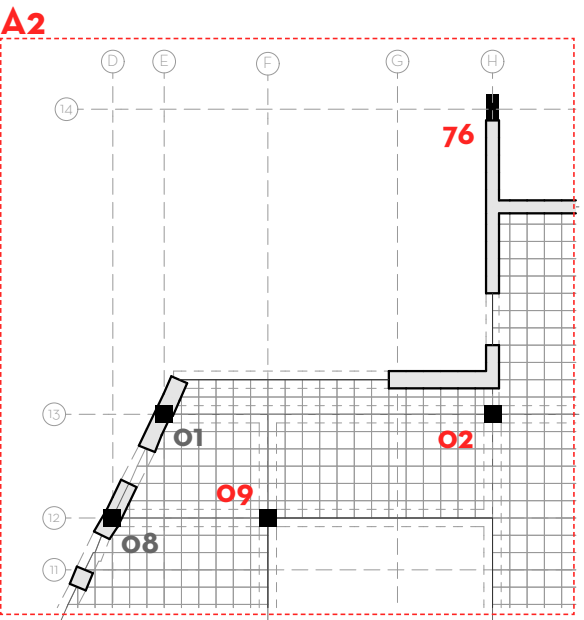
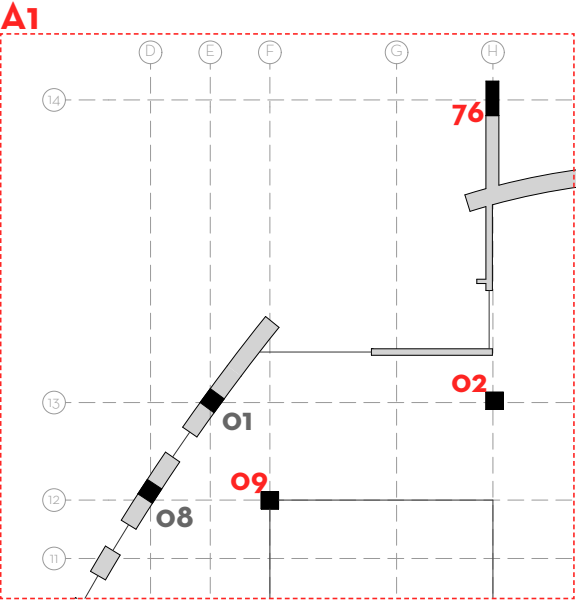


Figura 2.11 (A1) Detalle a escala 1:150 de planta arquitectónica. (A2) Detalle a escala 1:150 de modelo de discretización.

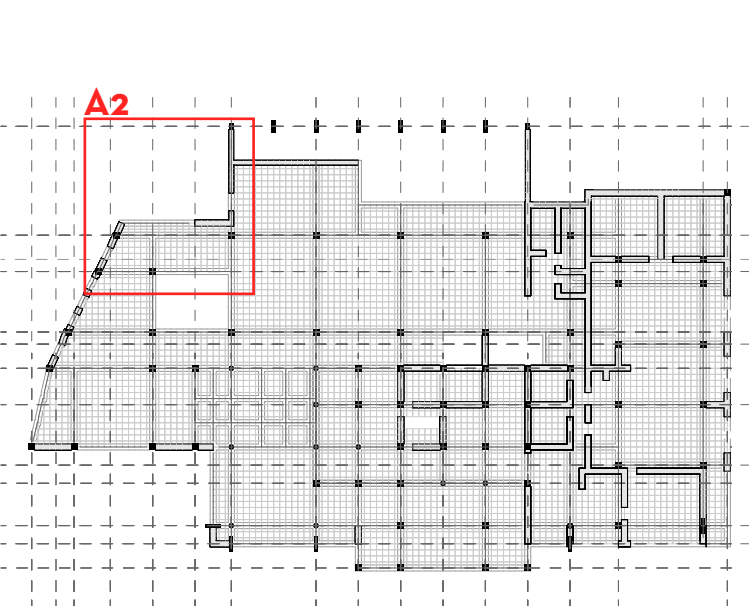


Figura 2.12 (A1) Planta arquitectónica a escala 1:500. (A2) Planta discretizada a escala 1:500. Morocho & Sarmiento (2020).



90 ➤ **Elementos Lineales (BEAM):** Las vigas y las columnas del modelo se proyectan como elementos lineales, los cuales deben estar conectados entre sí en función de sus ejes.

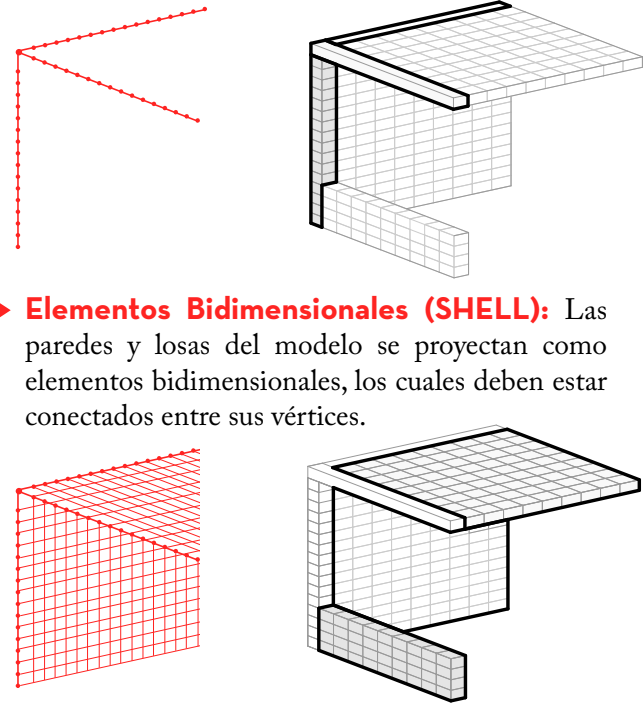


Figura 2.13 (A1) Elementos lineales: vista de modelo discreto y modelo BIM. (A2) Elementos Bidimensionales: vista de modelo discreto y modelo BIM.

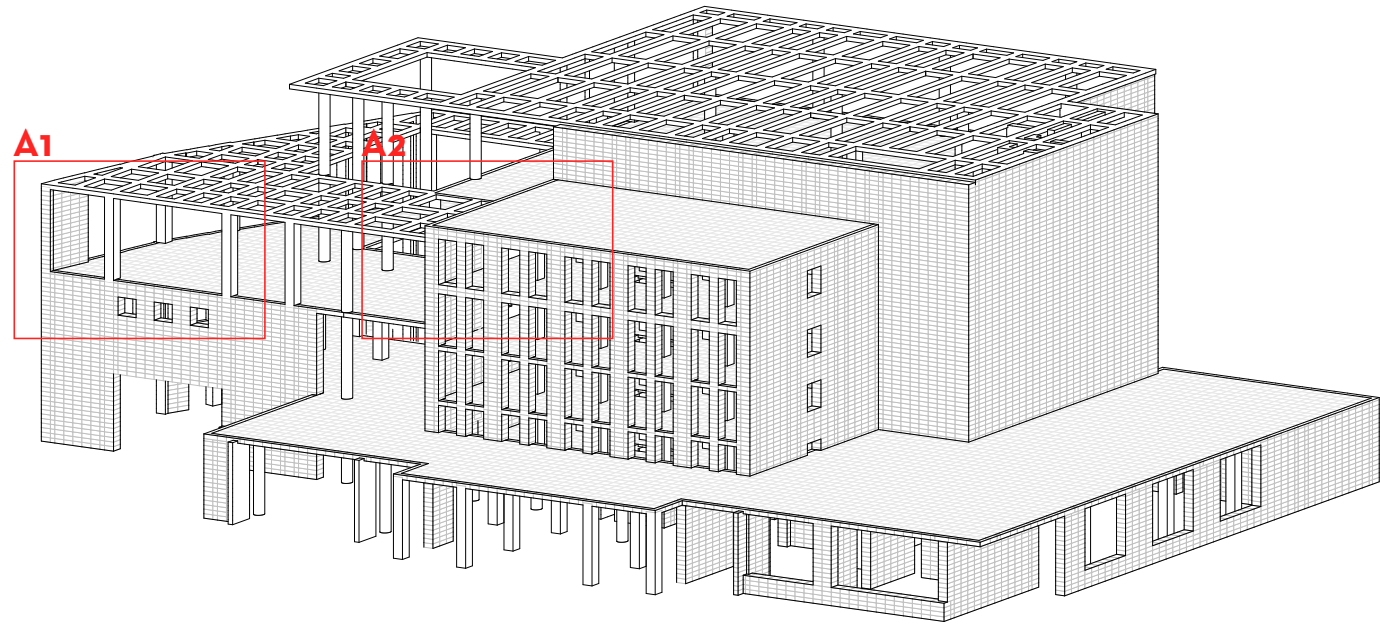
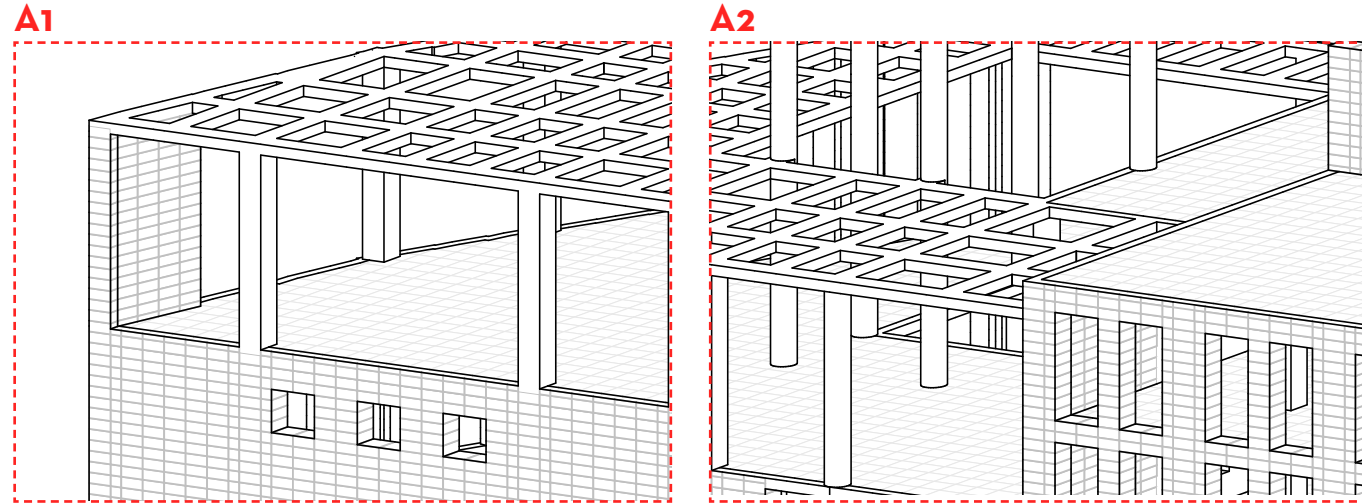


Figura 2.14 Vista en axonometría de modelo BIM en su totalidad. Se visualiza la discretización de todos los elementos estructurales identificados. (A1) Vista ampliada de zona. (A2) Vista ampliada de zona. Morochó & Sarmiento (2020).

Etapa 3 Revisión y adaptación de modelo

Debido a la complejidad de la edificación y su escala, fue necesario revisar y analizar a detalle todo el modelo y su conformación espacial, ya que la presencia de elementos duplicados o que no estén debidamente conectados en sus ejes o vértices, pueden afectar los pasos posteriores.

Etapa 4 Traslado de sistema 3D o Modelo BIM a Software Aplicado al Cálculo de Estructuras

➤ Exportación a formato IFC

Una vez realizada la revisión completa al modelo, se procede a exportar el 3D en formato IFC (Industry Foundation Classes File). El formato IFC es un modelo de datos estándar y abierto utilizado ampliamente por los programas BIM el cual presenta la información realizada con un determinado software, en dicho formato para permitir su interoperabilidad con otros programas.

En resumen, el formato IFC es un estándar global para compartir, describir e intercambiar información sobre la gestión de un modelo o edificación 3D.

➤ Importación en SAP

Una vez concluido el modelo estructural BIM, se hace uso del programa SAP2000. Este software aplicado al cálculo de estructuras es un programa de elementos finitos que posee interfaz gráfica tridimensional y permite la integración de modelo, dimensionamiento y análisis de estructuras.

Para continuar con el procedimiento se realizan los siguientes pasos:

- Importación del modelo BIM en formato IFC
- Asignación de dimensiones de los elementos estructurales.
- Asignación de una nomenclatura a los grupos de elementos.

Una vez realizadas estas acciones, el programa permite la exportación de matrices complejas, las cuales se descomponen en nodos y elementos ubicados espacialmente en el sistema de coordenadas (ejes X, Y y Z). Esta integración presenta como resultado un conjunto de elementos lineales y bidimensionales que conforman la estructura de la edificación (Fig. 2.16).

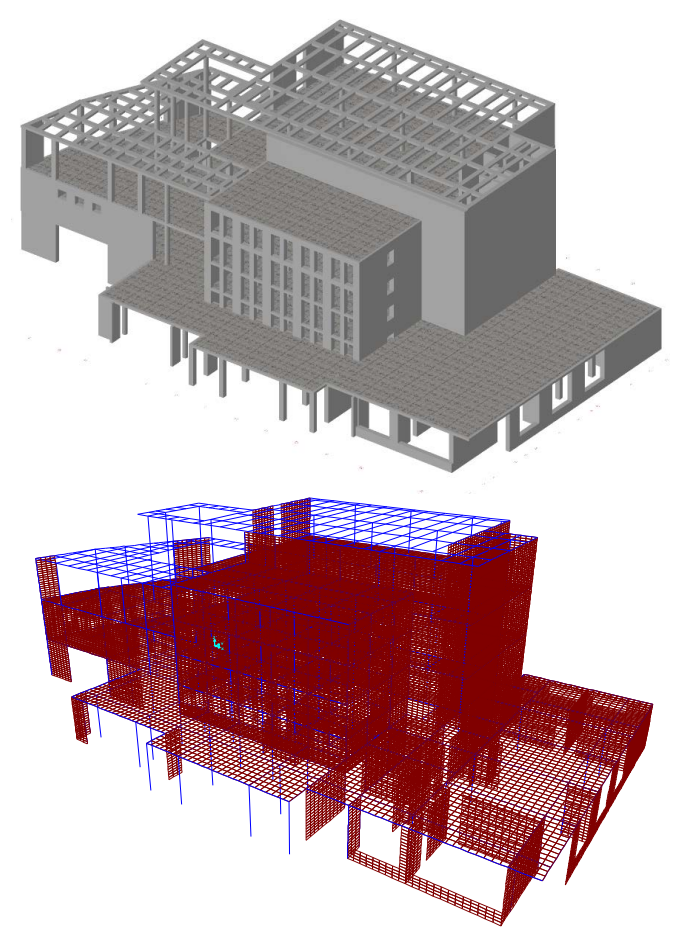


Figura 2.15 Visualización de modelo IFC y modelo SAP. Morochó & Sarmiento (2020).





92 ➤ **Visualización de elementos bidimensionales: losas y paredes**

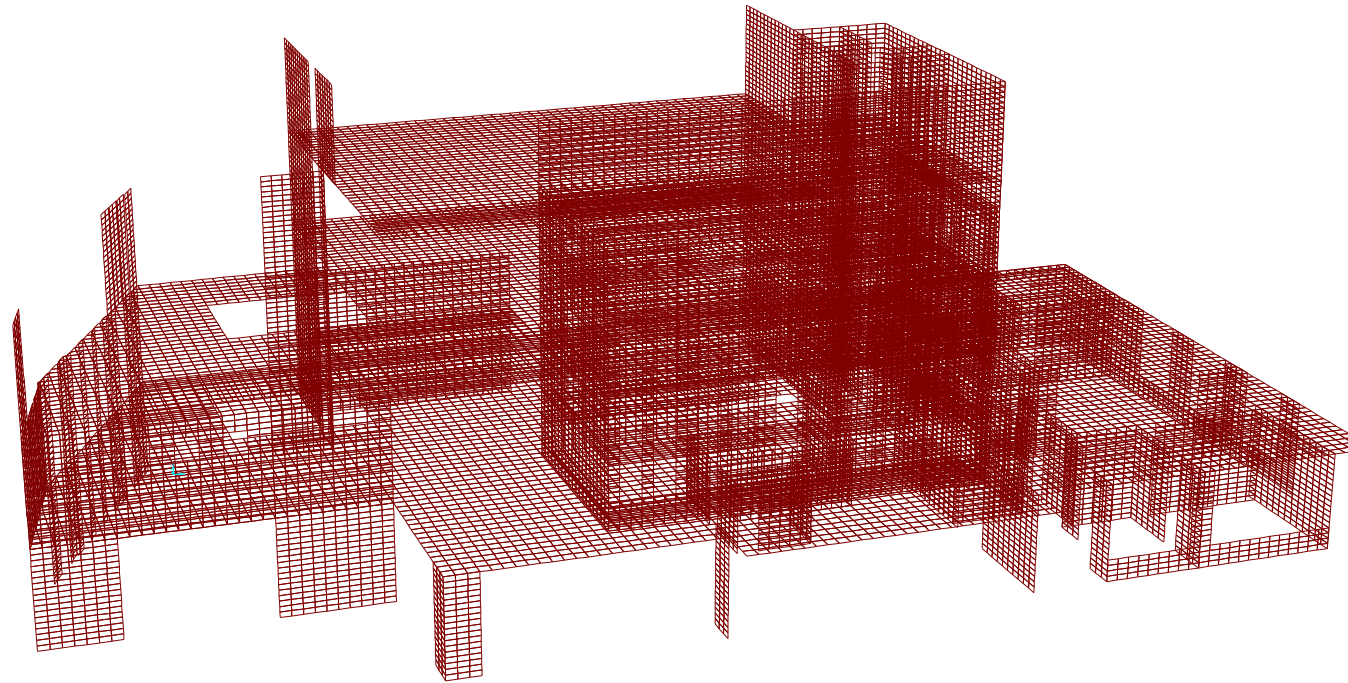


Figura 2.16 Visualización de modelo SAP (paredes y losas). Morocho & Sarmiento (2020).



➤ **Visualización de elementos lineales: vigas y columnas**

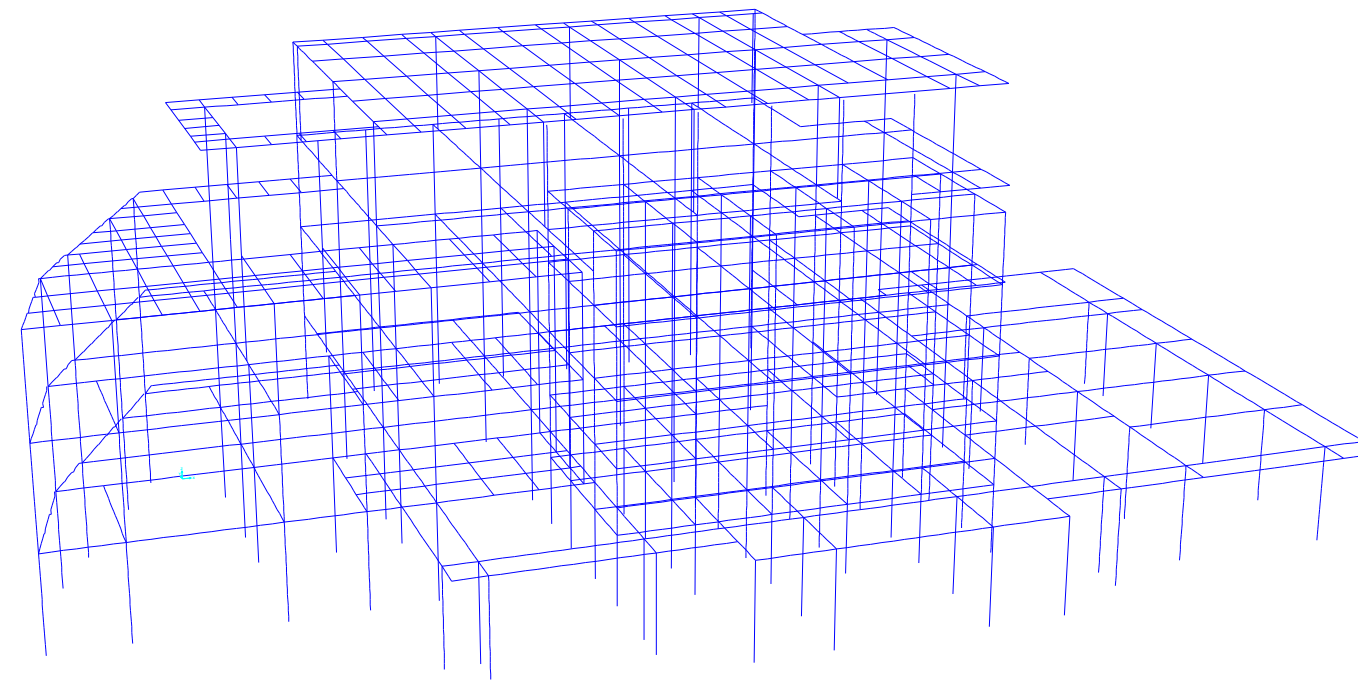


Figura 2.17 Visualización de modelo SAP (vigas y columnas). Morocho & Sarmiento (2020).



94 ➤ Visualización de elementos lineales y bidimensionales: vigas, columnas, losas y paredes

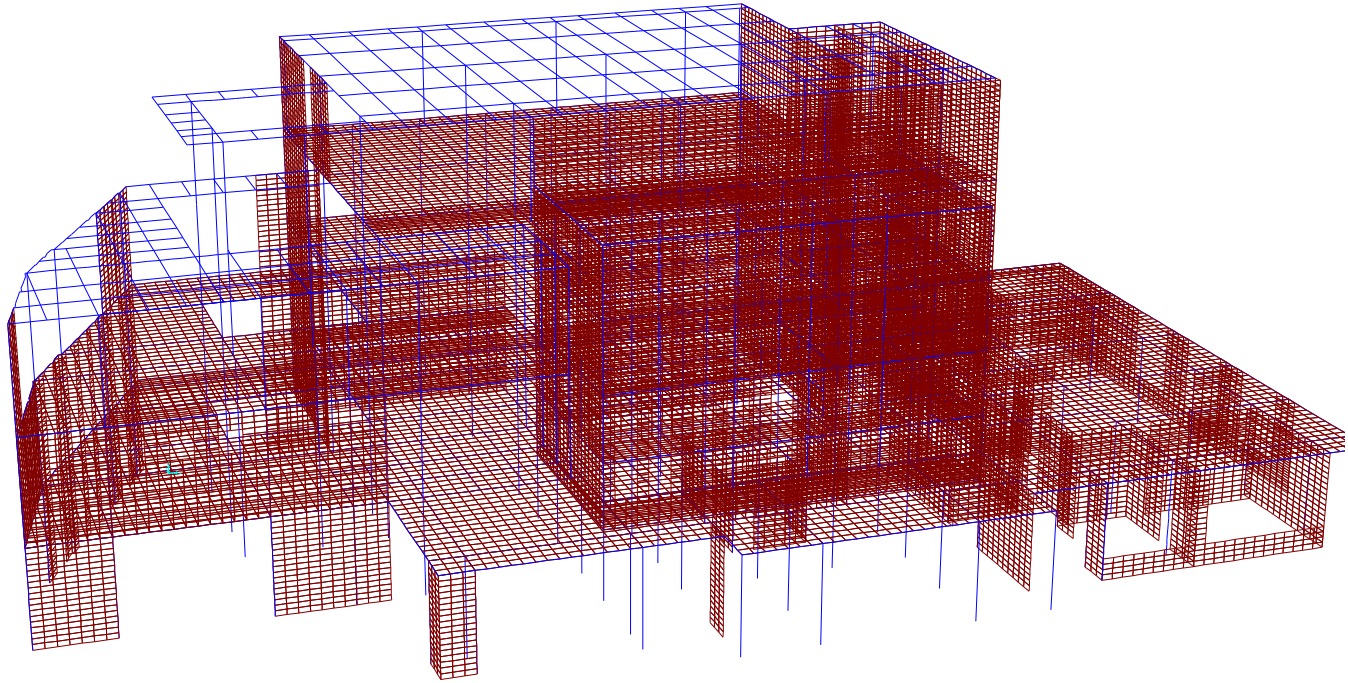


Figura 2.18 Visualización de modelo SAP (vigas, columns, paredes y losas). Morochó & Sarmiento (2020).



(A) Joint Coordinates

Joint Coordinates										
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options										
Units: As Noted										
Filter:										
Joint Text	CoordType Text	CoordType Text	XorR mm	Y mm	Z mm	SpecialH Yes/No	GlobalX mm	GlobalY mm	GlobalZ mm	
1	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	1400	No	38200	2800	1400	
2	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	3600	No	38200	2800	3600	
3	GLOBAL	Cartesian	17800	-14000	0	No	17800	-14000	0	
4	GLOBAL	Cartesian	17800	-14000	200	No	17800	-14000	200	
5	GLOBAL	Cartesian	14800	-14000	0	No	14800	-14000	0	
6	GLOBAL	Cartesian	14800	-14000	2800	No	14800	-14000	2800	
7	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	3200	No	38200	2800	3200	
8	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	3000	No	38200	2800	3000	
9	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	2800	No	38200	2800	2800	
10	GLOBAL	Cartesian	38200	2800	2800	No	38200	2800	2800	

(B) Connectivity Frame

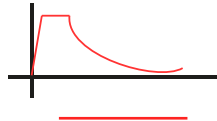
Connectivity - Frame								
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted								
Filter:								
	Frame Text	JointI Text	JointJ Text	IsCurved Yes/No	Length mm	CentroidX mm	CentroidY mm	CentroidZ mm
0	2166	1583	No	410.51	-6753.85	-13800	11200	
1	1816	5287	No	3800	11600	-10800	5500	
2	3	4	No	200	17800	-14000	100	
3	5	6	No	2600	14800	-14000	1300	
8	11	12	No	2600	14800	-11200	1300	
9	13	14	No	200	32000	-1600	3300	
10	15	16	No	200	20400	-14000	2500	

(C) Connectiiv Area

Connectivity - Area										
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options										
Units: As Noted										
Filter:										
	Area Text	Num.Joints Unitless	JointI Text	JointJ Text	JointK Text	JointL Text	Perimeter mm	AreaArea mm2	CentroidX mm	CentroidY mm
0	4	16182	16190	16191	16193	1209.412	80941.21	-4369.23	-12200	4800
1	4	6075	6076	6077	6078	1200	80000	31200	-8000	1100
2	4	6079	6080	3286	3287	1200	80000	32800	-20400	3500
3	4	6081	6082	6080	6079	1200	80000	32800	-20400	3300
4	4	6083	6084	6085	6086	1200	80000	16200	-16400	9100
5	4	6087	6088	6089	6090	1200	80000	16200	-16400	8500
6	4	6090	6089	6091	6092	1200	80000	16200	-16400	8700
7	4	6093	6094	6095	6096	1200	80000	16200	-16400	8100
8	4	6096	6095	6088	6087	1200	80000	16200	-16400	8300

Figura 2.19 Matrices exportadas desde SAAP2000 (A) Nodos, (B) Elementos lineales (C) Elementos bidimensionales. Morochó & Sarmiento (2020).

5 SIMULACIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS



En esta etapa se procede a integrar más información y datos de las propiedades y materiales de la edificación en el modelo estructural para generar el modelo matemático. La metodología emplea como software principal de cálculo a MATLAB aplicado con la herramienta Stabíl 3.0, un programa para elementos finitos diseñado en el año 2014 por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Leuven, Bélgica. Esta herramienta permite integrar al modelo las características, cargas y condiciones de borde, para poder ejecutar un análisis modal y espectral mediante la programación y resolución de matrices complejas.

Etapas

- 1) Integración y programación de matrices de nodos, elementos, secciones y materiales
- 2) Asignación de cargas
- 3) Definición de condiciones de borde y rigidez del sistema
- 4) Aplicación de espectro de diseño
- 5) Simulaciones y análisis de resultados

Etapa 1 Integración y programación de matrices de nodos, elementos, secciones y materiales

En este paso se procede a ingresar la información del modelo en MATLAB. Se deben generar cuatro matrices principales:

- **Matriz de Nodos**
Esta matriz contiene todos los nodos que configuran el modelo y su denominación, ubicados espacialmente en coordenadas x, y, z.
- **Matriz de Elementos**
Esta matriz contiene los elementos lineales y bidimensionales del modelo, su denominación, tipo, sección, material, y los nodos que definen su ubicación en el espacio.
- **Matriz de Secciones**
Esta matriz contiene la información de los elementos: dimensiones, áreas, inercia, columnas y losas; y se completa en función de los grupos establecidos. Al tener los elementos agrupados por tipos, fue posible sintetizar la cantidad de información existente debido al número elevado de elementos del modelo (Tabla 2.1).













Tabla 2.12: Tipos de columnas							
Grupo	Sección	y (cm)	x (cm)	Área (cm2)	Inercia X (cm4)	Inercia Y (cm4)	Inercia Z (cm4)
1		35,20	35,20	0,124	0,00256	0,00128	0,00128
2		37,50	37,50	0,141	0,00330	0,00165	0,00165
3		39,10	39,10	0,153	0,00390	0,00195	0,00195
4		41,00	41,00	0,168	0,00471	0,00235	0,00235
5		44,20	44,20	0,195	0,00636	0,00318	0,00318
6		38,00	32,00	0,122	0,00250	0,00104	0,00146
7		43,00	34,00	0,146	0,00366	0,00141	0,00225
8		80,00	30,00	0,240	0,01460	0,00180	0,01280
9		100,00	42,00	0,420	0,04117	0,00617	0,03500
10		38,50	24,70	0,095	0,00166	0,00048	0,00117
11		52,50	25,00	0,131	0,00370	0,00068	0,00301
12		28,00	68,00	0,190	0,00858	0,00734	0,00124

Tabla 2.12 (izq.) Tipos de columnas del modelo: dimensiones, área e inercia. Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.13 (der.) Matrices de nodos, elementos, secciones y materiales para MATLAB. Morocho & Sarmiento (2020).

nodos

elementos

secciones

Tabla 2.13: Matrices

Conformación Matriz de Nodos

Nombre de Matriz	Nombre de nodo	eje X	eje Y	eje Z
Nodes=[	1,0	39.2	2.8	3.4;
	2,0	39.2	2.8	3.6;
	3,0	17.6	-14,00	0,00;
	4,0	17.6	-14,00	0.2;
	5,0	14.8	-14,00	0,00;
	6,0	14.8	-14,00	2.6;
	7,0	39.2	2.8	3.2...];

Conformación Matriz de Materiales

Nombre de Matriz	Nombre de nodo	Módulo de Elasticidad	Coefficiente de Poisson	Densidad del material
Materials=[	1	E1	mu	rho1;
	2	E2	mu	rho2;
	3	E3	mu	rho3;
	4	E4	mu	rho4;
	5	E5	mu	rho5...];

Conformación Matriz de Elementos Tipo 2 Beam

Nombre de Matriz	Nombre de Elemento	Tipo	Sección	Material	Nodo 1	Nodo 2	Nodo referencial	NaN
Elements=[	0	1	23	23	2166	1583	40000	NaN;
	1	1	16	16	1816	5287	40000	NaN;
	2	1	3	3	3	4	40000	NaN;
	3	1	11	11	5	6	40000	NaN;
	8	1	3	3	11	12	40000	NaN;
	9	1	4	4	13	14	40000	NaN;
	10	1	6	6	15	16	40000	NaN...];

Conformación Matriz para Sección de Elementos

Nombre de Matriz	Nombre de Sección	A	ky	kz	Ixx	Iyy	Izz	yt	yb	zt	zb
Sections=[	1	0.124	Inf	Inf	0.00256	0.00128	0.00128	0.176	0.176	0.176	0.176;
	2	0.141	Inf	Inf	0.00330	0.00165	0.00165	0.187	0.187	0.187	0.187;
	3	0.153	Inf	Inf	0.00390	0.00195	0.00195	0.195	0.195	0.195	0.195;
	4	0.168	Inf	Inf	0.00471	0.00235	0.00235	0.205	0.205	0.205	0.205;
	5	0.195	Inf	Inf	0.00636	0.00318	0.00318	0.221	0.221	0.221	0.221;
	6	0.122	Inf	Inf	0.00250	0.00104	0.00146	0.190	0.190	0.160	0.160;
	7	0.146	Inf	Inf	0.00366	0.00141	0.00225	0.215	0.215	0.170	0.170...];



98 > Matriz de Materiales

Esta matriz contiene la información de las propiedades mecánicas de los materiales: módulo de elasticidad, coeficiente de poisson y densidades.

Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas fundamentales para realizar un correcto análisis de la edificación son los siguientes:

- > Coeficiente de Poisson
- > Módulo Elástico (Ec)
- > Densidad (Rho)

Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular y longitudinal a la fuerza aplicada sobre el mismo. Está comprendido entre 0 y 0.5.

- μ coeficiente de poisson
- ϵ_t deformación unitaria transversal
- ϵ_l deformación unitaria longitudinal

$$\mu = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$$

El caso de estudio emplea 3 materiales: hormigón, mampostería de ladrillo y acero, por este motivo, se requieren los coeficientes de dichos materiales, siendo los siguientes:

Tabla 2.14: Coeficiente de Poisson		
Material		
Acero ASTM-A36		0,26
Hormigón		0,25
Mampostería de ladrillo		0,22

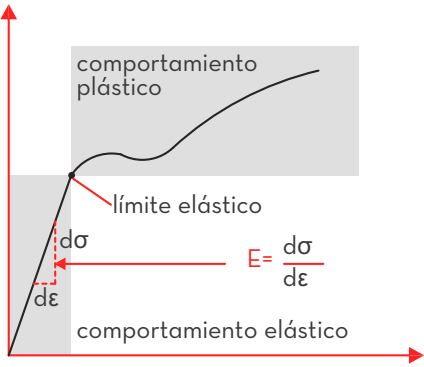
Módulo Elástico (Ec)

El módulo elástico o también denominado Módulo de Young es una constante elástica que se refiere a la relación entre el aumento de tensión y la deformación longitudinal unitaria en el rango de comportamiento elástico de un material.

- E módulo elástico
- σ tensión axial
- ϵ deformación unitaria

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Tabla 2.14 Coeficiente de Poisson de materiales empleados. Morocho & Sarmiento (2020).



Para determinar el módulo de elasticidad de los materiales se realizó el procedimiento de cálculo correspondiente:

Ladrillo

En el caso de la edificación de estudio, la información encontrada en el documento de Residencia de obra en la ampliación del centro de información documental de la Universidad de Cuenca (Córdova & Peláez, 2002) se evidencia que la mampostería empleada es de tipo macizo artesanal de arcilla.

Figura 2.20 Definición gráfica del concepto de módulo de elasticidad. Curva Tensión – Deformación, para un material sometido a una carga de tracción de Porras, R., & Arias-Trujillo, J. (2016). Adaptación realizada por Morocho & Sarmiento (2020).

Varias normativas proponen fórmulas empíricas para determinar el módulo de elasticidad de las paredes de mampostería de tipo ladrillo de barro cocido (arcilla) (Barrera & Peñaloza, 2018); y según la NEC-SE-MP (2014) el módulo de elasticidad en caso de ladrillos de arcilla se determina con la siguiente fórmula:

$$E = 750 \times f_m$$

- E módulo elástico
- f'_m resistencia a la compresión

En el caso de la ciudad de Cuenca, diversos estudios (Fernandez, 1976; Palomeque & Ojeda, 1992) determinan las propiedades mecánicas de 7 ladrilleras artesanales de la ciudad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.15: Ensayos de resistencia a la compresión					
Fábrica	Ubicación	Sector	Resistencia a la compresión kgf/cm2	Media	Desviación estandar kgf/cm2
2	Sta. Isabel	Sinincay	26,00	28,00	2,83
3	Segundas Cochas	Sinincay	30,00		
7	Sta. Maria	Sayausi	47,00	48,00	1,00
5	Virgen del Milagro	Sayausi	48,00		
1	La Cumbre	Sinincay	49,00		
4	Sta. Isabel	Sinincay	72,00	73,50	2,12
6	Virgen del Milagro	Sayausi	75,00		
Media				50	

Para fines pertinentes en este estudio, y con la finalidad de aproximar el modelo a la realidad, se han tomado la media de los estudios expuestos anteriormente, para calcular módulo de elasticidad del ladrillo. La media empleada es de 50 kgf/cm2. Finalmente, al realizar el cálculo indicado en la normativa NEC-SE-MP, se determina el siguiente valor:

$$E = 37500 \text{ kgf/cm}^2$$
$$E = 3677,49 \text{ MPa}$$

Según Barrera & Peñaloza (2018) existen diversas normativas que indican rangos (Malo, Regular y Bueno) en cuanto a las propiedades mecánicas de ladrillos artesanales. Se visualiza que el valor obtenido de 37500 kgf/cm^2 es compatible con el rango Regular - Bueno indicado en kgf/cm2 en la tabla expuesta a continuación:

Tabla 2.16 Propiedades mecánicas de paredes de mampostería					
Propiedad	Nomenclatura	Malo	Regular	Bueno	Referencia Bibliográfica
Módulo de elasticidad	E_m (kgf/cm2)	13 500	24 000	45 000	(ACI-530, 2002; NEC-SE-MP, 2015; NMX-C-464, 2010; Norma Técnica E. 070, 2006; NSR, 2010)

Tabla 2.15 Ensayos de resistencia a la compresión - Estudio realizado en 7 ladrilleras de la ciudad de Cuenca (Fernandez, 1976). Adaptación realizada por: Morocho & Sarmiento (2020).

Acero

En el caso de estudio existen diversas vigas y columnas de acero estructural tipo ASTM-A36, por lo tanto es importante considerar su módulo de elasticidad correspondiente. A continuación se presentan las propiedades mecánicas del acero estructural ASTM-A36 (Bauccio, 1993).

Tabla 2.17 - Acero ASTM-A36			
Propiedad	Unidad		Referencia Bibliográfica

Módulo de elasticidad	GPa	200	ASM Metals Reference Book, 3rd Edition
-----------------------	-----	-----	--

Hormigón

Según la normativa NEC-SE-HM en los modelos elásticos de estructuras que se diseñan para acciones sísmicas, el módulo de elasticidad del hormigón E_c (GPa), será calculado para hormigones de densidad normal con la siguiente fórmula:

$$E = 4,7 \times \sqrt{f'}$$

Tabla 2.16 Propiedades mecánicas de paredes de mampostería - rangos (Barrera & Peñaloza, 2018). Adaptación realizada por: Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.17 Propiedades del acero ASTM-A36 (Bauccio,1993). Adaptación realizada por: Morocho & Sarmiento (2020).



100 En este caso, y como se expone anteriormente en la sección 3: Determinación de resistencia mediante ensayos no destructivos (tabla 2.11), se obtuvo la resistencia a la compresión por ensayos esclerométricos aplicados a las columnas de la edificación.

Los grupos de columnas generadas permitieron establecer las resistencias medias y por tanto posteriormente, calcular el módulo de elasticidad correspondiente a cada grupo.

En la tabla 2.18 expuesta a continuación se evidencian los datos obtenidos.















Tabla 2.18: Grupos de Columnas y Módulo de Elasticidad											
Grupo	Sección	y (cm)	x (cm)	Material	Módulo de Elasticidad (GPa)	Grupo	Sección	y (cm)	x (cm)	Material	Módulo de Elasticidad (GPa)
Grupo 1		35,20	35,20	Hormigón armado	16,65	Grupo 9		80,00	30,00	Hormigón armado	15,59
Grupo 2		37,50	37,50	Hormigón armado	15,45	Grupo 10		100,00	42,00	Hormigón armado	16,77
Grupo 3		39,10	39,10	Hormigón armado	18,37	Grupo 11		d=38,5		Hormigón armado	19,92
Grupo 4		41,00	41,00	Hormigón armado	21,45	Grupo 12		d=39,4		Hormigón armado	19,92
Grupo 5		44,20	44,20	Hormigón armado	21,73	Grupo 13		38,50	24,70	Hormigón armado	23,56
Grupo 6		38,00	32,00	Hormigón armado	21,33	Grupo 14		52,50	25,00	Hormigón armado	24,27
Grupo 7		43,00	34,00	Hormigón armado	20,27	Grupo 15		28,00	68,00	Hormigón armado	21,83

Tabla 2.18 Grupos de columnas y módulo de elasticidad correspondiente. Elaboración realizada por: Morocho & Sarmiento (2020).

Densidad (Rho)

La densidad es una magnitud escalar de volumen, que se refiere a la cantidad de masa existente en un cuerpo. En este caso, el cálculo de densidad de cada tipo de material debe ser integrar su peso propio y las cargas adicionales que actúan en la estructura: recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y artefactos integrados permanentemente. Finalmente la fórmula de aplicación sería la siguiente:

$$\rho = d_m + d_c$$

d_m densidad del material
 d_c densidad por cargas adicionales

Material tipo: ladrillo artesanal

En los elementos bidimensionales que contengan el material tipo ladrillo (paredes) se debe considerar el peso por el material propio, sumado al enlucido y empastado adicional. Los pesos referenciales se obtuvieron de la NEC (2014). Los calculos realizados se exponen a continuación en la tabla 2.19.

Tabla 2.19: Cálculo densidad final mampostería de ladrillo					
Componente	Material	Densidad NEC 2014 (kN/m3)	Densidad (kg/m3)	Espesor (m)	Peso x m2 (kg/m2)
Mampostería tipo ladrillo artesanal	Ladrillo artesanal (B. Piedras artificiales)	16,0	1631,55	0,15	244,73
Enlucido	Cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5 (D. Morteros)	20,0	2039,43	0,04	81,58
Empaste	Cal y arena (D. Morteros)	16,0	1631,55	0,01	16,32
Peso final de pared por m2 (kg/m2)				0,20	342,62
Densidad final de paredes (kg/m3)					1713,12

Material tipo: hormigón

En columnas y vigas (elementos lineales) se realiza el cálculo de densidad final como se ejemplifica a continuación en la tabla 2.20.

Tabla 2.20 Cálculo densidad final columnas de hormigón (Grupo 1)				
Componente	Material	Densidad NEC 2014 (kN/m3)	Área (m2)	Peso x m2 (kg/m2)
Hormigón	Hormigón armado (B. Piedras artificiales)	2447,32	0,1239	303,2326
Peso final de columna por m2 (kg/m2)				303,2326
Área de columna m2				0,1239
Densidad final de columnas Grupo 1 (kg/m3)				2447,32

Tabla 2.19 Cálculo densidad final mampostería de ladrillo. Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.20 Cálculo densidad final columnas de hormigón (Grupo 1). Morocho & Sarmiento (2020).

En los elementos tipo losa (bidimensionales) se debe incluir las cargas que el elemento estructural esté destinado a soportar, por lo tanto, en el cálculo de la carga final se deberá incluir elementos adicionales como: cielo raso, instalaciones y revestimientos. A continuación en la tabla 2.21 se ejemplifica el cálculo del peso final por metro cuadrado; adicionalmente en la tabla 2.22 se muestra el cálculo de densidad final, en el cual se adiciona la Carga Viva (CV) la cual se asigna en función de la ocupación del edificio según la normativa NEC (2014).

Tabla 2.21 Cálculo peso final entrepiso de hormigón				
Componente	Material	Densidad NEC 2014 (kN/m3)	U	Peso x m2 (kg/m2)
Hormigón	Hormigón armado (B. Piedras artificiales)	2447,32	0,30	734,1957
Instalaciones	Instalaciones (Valor Referencial)	10,00		10,1937
Cielo raso	De yeso sobre listones (incluidos los listones) (H. Cielosrasos y Cubiertas)	20,00		20,3874
Revestimiento de piso	Revestimiento de piso Baldosa de cerámica, con mortero de cemento (G. Contrapisos y recubrimientos)	20,00		20,3874
Peso final de losa por m2 (kg/m2)				785,16

Tabla 2.21 Cálculo del peso final de entrepiso de hormigón. Morocho & Sarmiento (2020).



102

Tabla 2.22 Cálculo densidad final entrepiso de hormigón	
Carga Muerta (Cm) (kg/m2)	785,18
Carga Viva (Cv) (kg/m2)	290,00
Carga última (Cu) =(1,2*Cm)+(0,3)*(1,6)*Cv) (kg/m2)	1081,42
espesor de losa (m)	1081,42
Densidad final de losa por m2 (kg/m2)	3604,73

Material tipo: acero

En el caso de los elementos estructurales tipo columna y viga, cuya materialidad es de acero, se les asigna la densidad propia del acero:

$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Grados de libertad

Anteriormente en la sección 1.7.2 del capítulo uno, se especificaron las generalidades y conceptos de los grados de libertad en un sistema. Según Piqué del Pozo & Scaletti (1991) cuando se emplea el análisis modal para sistemas estructurales reales, es necesario considerar el sistema de múltiples grados de libertad, ya que dicho sistema permite una aproximación mayor a la simulación de comportamiento del modelo.

Tabla 2.22 Cálculo de la densidad final del entrepiso de hormigón. Morocho & Sarmiento (2020).

Una estructura real posee infinitos grados de libertad, sin embargo, es posible reducir su número a un sistema finito considerando que los desplazamientos intermedios de los elementos pueden ser expresados en función de los desplazamientos de los nudos extremos.

Por este motivo, el caso de estudio expuesto asigna 6 grados de libertad a cada nodo:

- > dx desplazamiento en x
- > dy desplazamiento en y
- > dz desplazamiento en z
- > rx rotación alrededor de x
- > ry rotación alrededor de y
- > rz rotación alrededor de z

En consecuencia, el modelo posee las siguientes características en sus grados de libertad:

- > Cada elemento lineal (columnas y vigas) posee doce grados de libertad.
- > Cada elemento bidimensional (losas y muros) poseen 24 grados de libertad (figura 2.21).
- > Los nodos que están conectados al plano de superficie (suelo) están restringidos en desplazamiento y rotación, es decir, están empotrados.

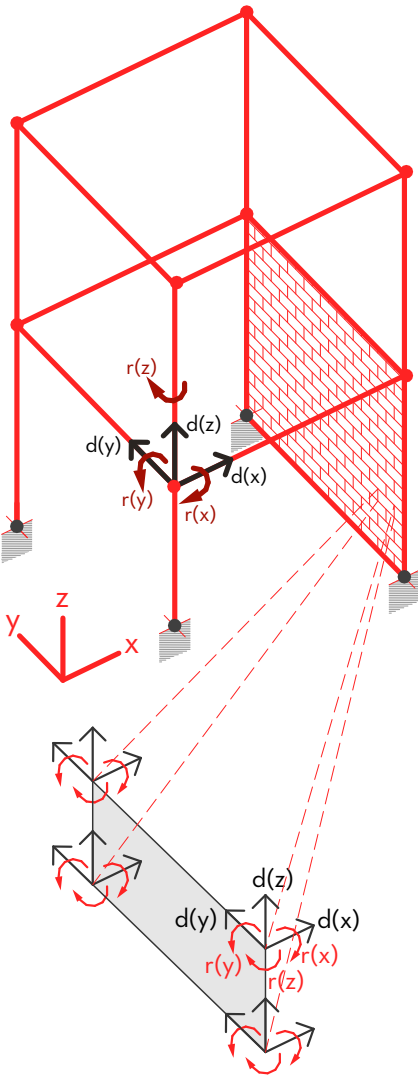


Figura 2.21 Visualización de modelo y sus grados de libertad correspondientes a cada nodo. Morocho & Sarmiento (2020).



103

Análisis estático: Deformaciones

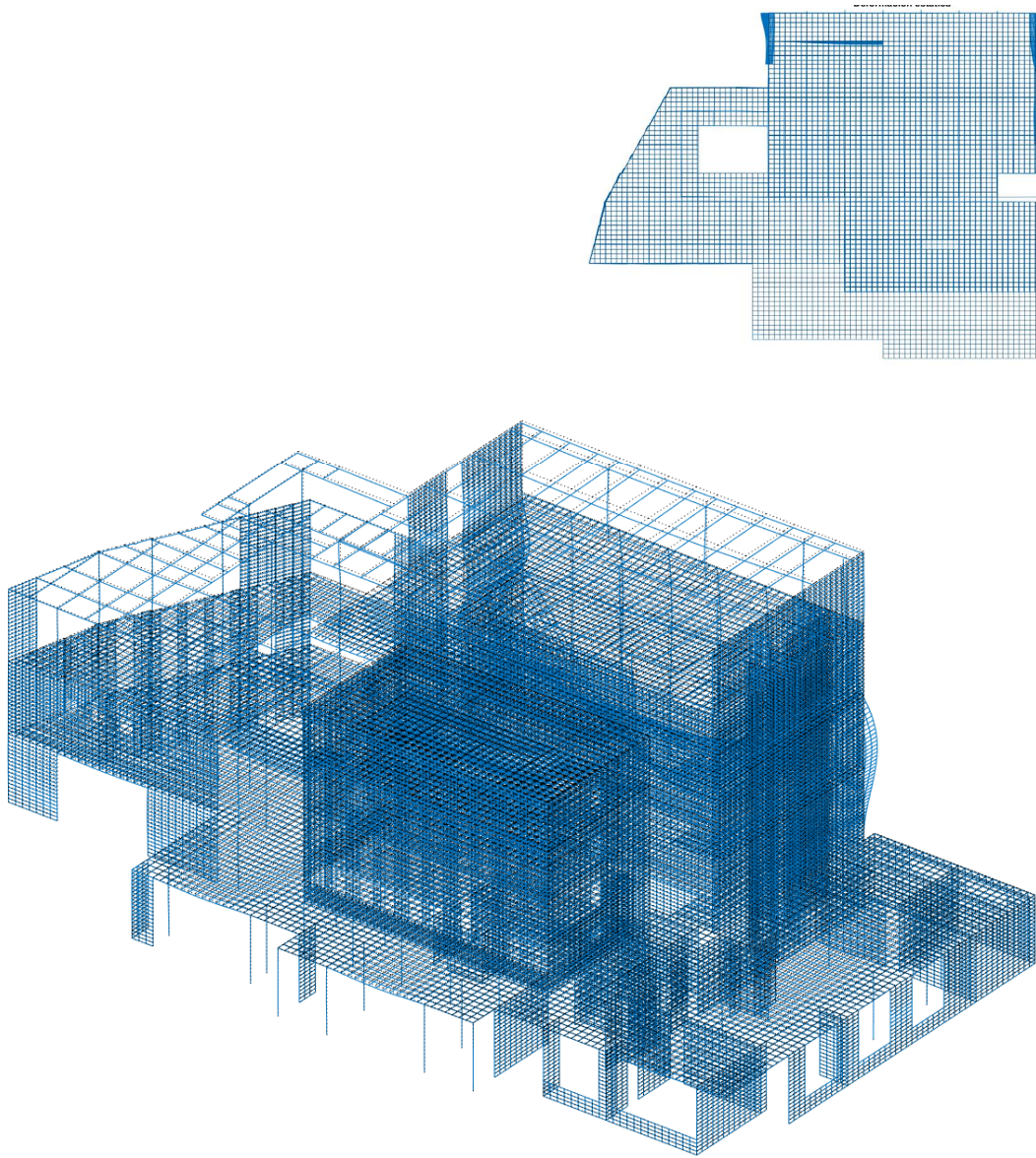
Para obtener las deformaciones estáticas del sistema, es necesario calcular en un principio la matriz de rigidez del sistema (K) y la matriz (P), la cual contiene los pesos asignados a los materiales de cada elemento. La matriz global de rigidez del sistema (K) se obtiene a partir de lo siguiente:

- > El tipo de elemento definido (lineal o bidimensional)
- > Las características geométricas de las secciones transversales
- > Las propiedades de los materiales
- > Los nodos presentes en los elementos
- > Los desplazamientos en los respectivos nodos

Las deformaciones se determinan a partir de encontrar matricialmente la inversa de la matriz de rigidez. El vector de deformaciones resultante posee una dimensión de (n x 1). La representación de cálculo de la matriz de deformación es el siguiente:

$U = K^{-1}\{P\}$

Figura 2.22 Visualización de modelo y su deformación estática - Vista en Perspectiva y en planta. Morocho & Sarmiento (2020).



104 Espectro de diseño

El espectro se define como la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas a un período de retorno (Jaramillo 2002). Según la normativa NEC (2015) el espectro de diseño consiste en una representación del espectro de respuesta de una estructura en función de sus condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y el tipo de suelo asociado a su emplazamiento.

El espectro de diseño es utilizado para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño, el cual se define como un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (periodo de retorno de 475 años).

Los componentes de la carga sísmica para el espectro de diseño son:

- z**

aceleración máxima en roca
- fa**

coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto
- fd**

coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca
- fs**

coeficiente de amplificación de suelo, considera el comportamiento no lineal de los suelos

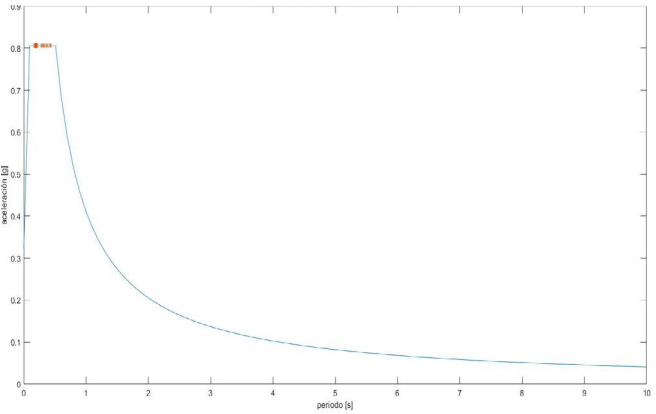


Figura 2.23 Espectro de diseño aplicado al caso de estudio. Morocho & Sarmiento (2020).

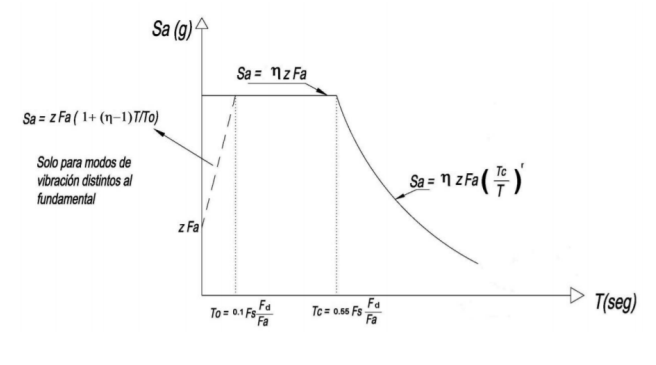


Figura 2.24 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

Tipo de suelo

En la Normativa NEC-SE-DS de cargas sísmicas, se establece un mapa de zonas sísmicas para el territorio ecuatoriano (figura 2.25), el cual se realizó en función de un estudio completo que considera resultados de diversos estudios de peligro sísmico del Ecuador (NEC, 2015).

En la tabla de *Poblaciones ecuatorianas y el valor del factor Z*, se emplea el valor de Z para representar la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño. El sitio en el que esté emplazado el edificio del caso de estudio, en este caso de la ciudad de Cuenca, determina el comportamiento sísmico del mismo.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
CUENCA	CUENCA	CUENCA	AZUAY	0.25
CHORDELEG	CHORDELEG	CHORDELEG	AZUAY	0.25
GUALACEO	GUALACEO	GUALACEO	AZUAY	0.25

Figura 2.25 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

El perfil del suelo de la ciudad de Cuenca es de tipo C: Perfil de suelos muy densos o roca blanda con un criterio de velocidad de la onda cortante entre 360 m/s y 760 m/s. Por este motivo, se consideran los siguientes valores expuestos en la figura 2.26 para los factores **fa**, **fd**, **fs**.

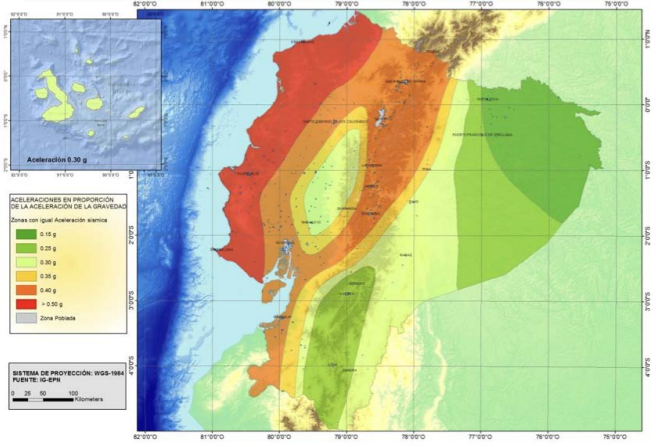


Figura 2.26 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Figura 2.27 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

fd: Desplazamientos para diseño de roca.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 2.28 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

fs: Comportamiento no lineal de los suelos

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 2.29 Modelo de cálculo de espectro de diseño. NEC (2015).

Para el caso de estudio, se asignaron los siguientes¹⁰⁵ valores correspondientes a las características y condiciones geológicas de la ciudad de Cuenca:

z = 0,25
fa = 1,30
fd = 1,28
fs= 0,94

Análisis Modal

El análisis modal tiene como finalidad determinar los periodos y modos de vibrar de una estructura (García, 2017). Según la NEC (2015) los periodos de una estructura deben encontrarse entre 0.1 y 1 segundo. En este caso, se determinan los 20 primeros periodos de vibración con la finalidad de identificar el periodo máximo.

Tabla 2.23: Periodos de la estructura			
Modo de vibrar	Periodo	Modo de vibrar	Periodo
1	0,37	11	0,15
2	0,32	12	0,15
3	0,29	13	0,15
4	0,21	14	0,14
5	0,20	15	0,13
6	0,20	16	0,13
7	0,19	17	0,12
8	0,18	18	0,11
9	0,17	19	0,11
10	0,16	20	0,11

Tabla 2.23 Periodos de la estructura. Morocho & Sarmiento (2020).



106 Modos de Vibración

Los modos de vibración de un edificio dependen de las cargas dinámicas que, en caso de un evento sísmico, pueden afectar en mayor o menor medida a la estructura. Cada una de estas formas de vibrar se denominan modos de vibración (NEC, 2014) y generalmente los primeros modos de vibrar son los que provocan mayor desplazamiento de masa el momento del sismo.

Segun la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014) en el análisis se debe considerar:

- Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios periodos de vibración.
- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal adecuada de al menos el 90% de la masa total de la estructura.

En este caso se consideran los primeros 20 modos de vibrar, ya que, en función a lo estipulado en la norma, se deberá considerar los valores de los modos de vibrar que en sumatoria, representen aproximadamente el 90% del desplazamiento de masa total del edificio. En las figuras 2.23 (a)-(j) se presentan los 10 primeros modos de vibrar.

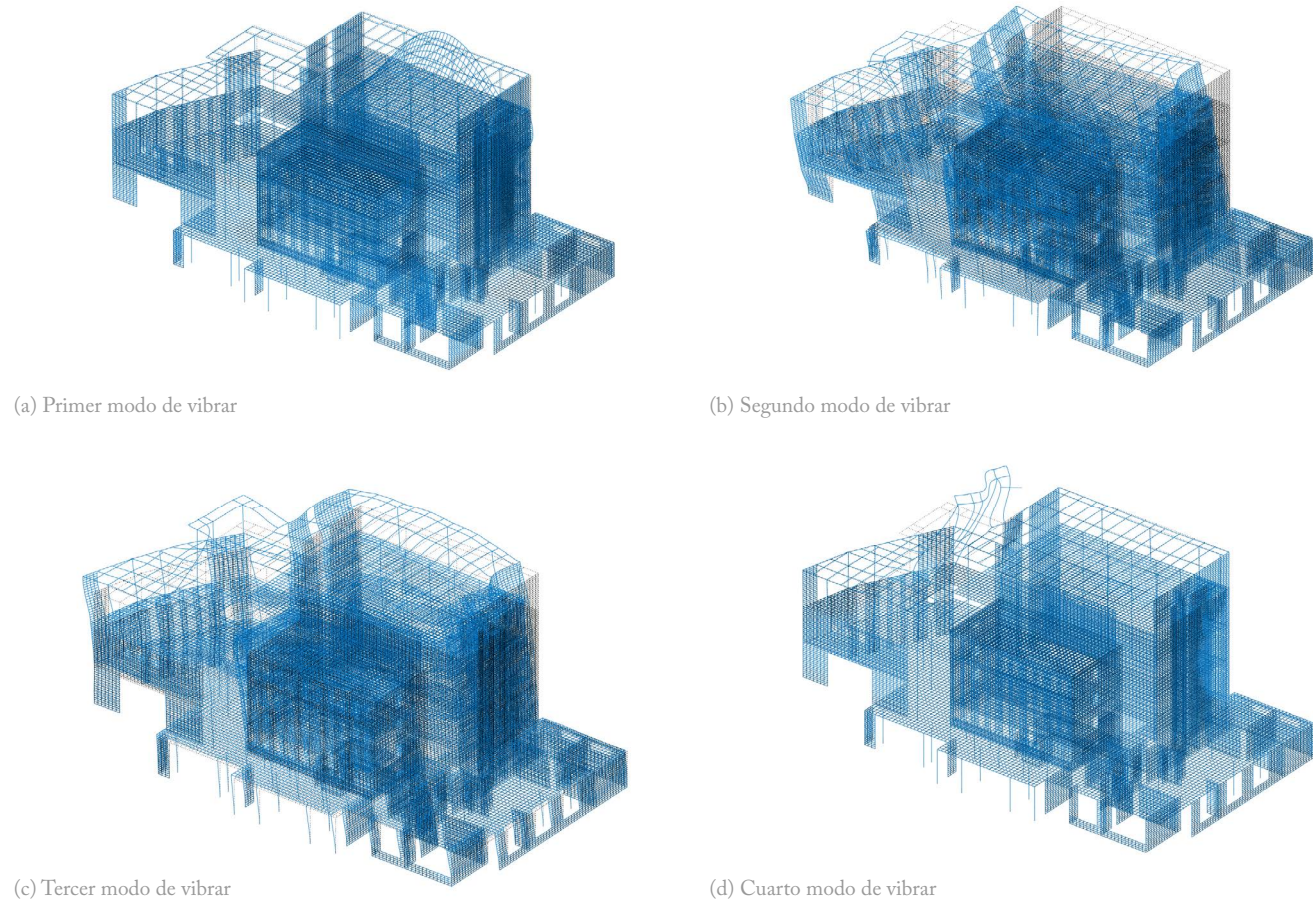


Figura 2.30 Modos de vibrar - Análisis Espectral. Morocho & Sarmiento (2020).

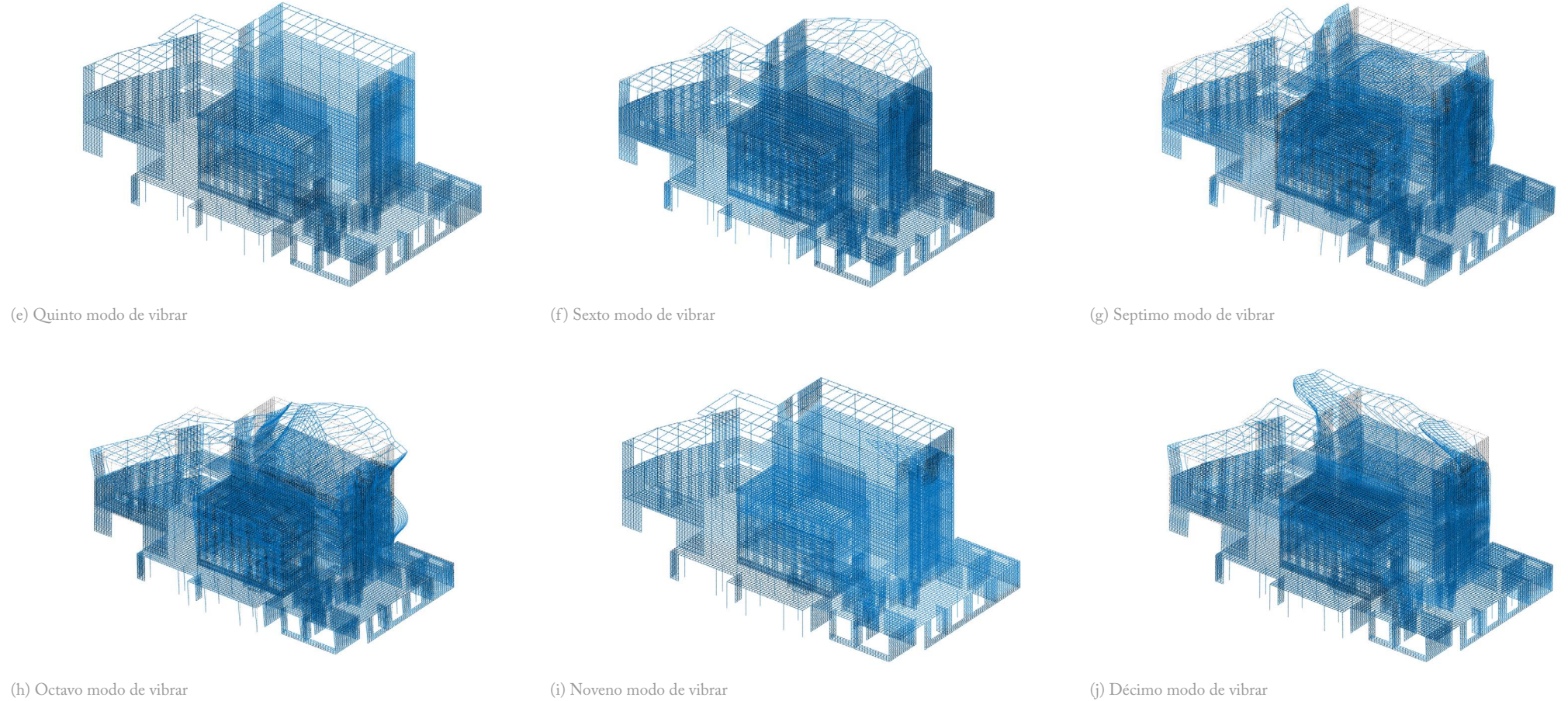


Figura 2.31 Modos de vibrar - Análisis Espectral. Morocho & Sarmiento (2020).



108Análisis Espectral

El análisis espectral simula el comportamiento de una estructura sometido a fuerzas sísmicas. En este proceso el espectro de diseño define las condionantes que determinan los desplazamientos que sufre una edificación. Los desplazamientos máximos evidencian la distancia que se desplaza una edificación al ser sometida a fuerzas sísmicas.

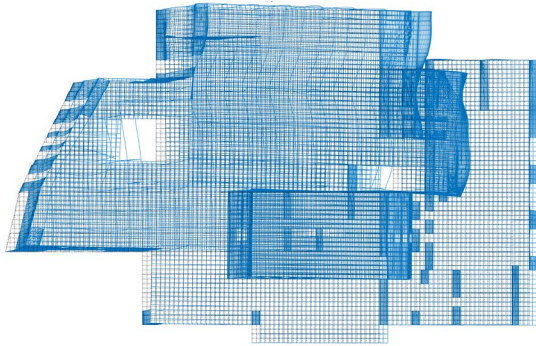
En este análisis se puede interpretar la participación de las fuerzas sísmicas sobre la estructura. Las fuerzas modales que actúan en dos direcciones determinantes (x) y (y), generan desplazamientos en dichos sentidos.

Los gráficos 2.25 expuestos a continuación visibilizan las deformaciones causadas.

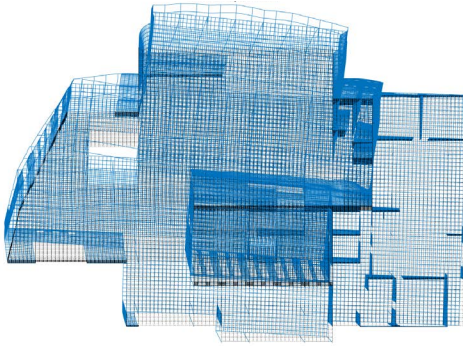
En la tabla 2.24 se exponen los valores correspondientes a las deformaciones en las direcciones (x) y (y).

Tabla 2.24: Deformaciones por acción sísmica	
Dirección	Desplazamiento (m)
Ux	0,06306
Uy	0,06659

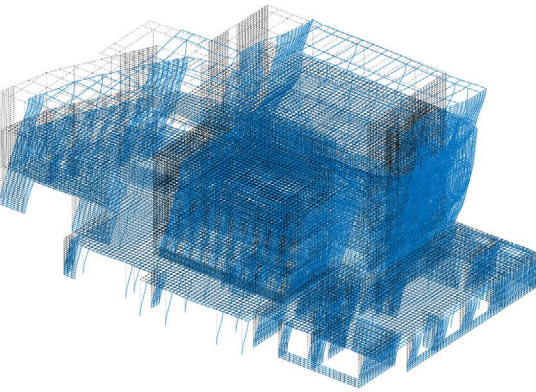
Tabla 2.24 Deformaciones por acción sísmica. Morocho & Sarmiento (2020).



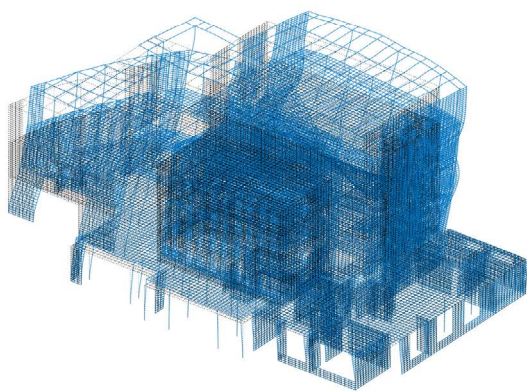
(a) Deformación en x



(a) Deformación en y



(g) Séptimo modo de vibrar



(g) Séptimo modo de vibrar

Figura 2.32 Modos de vibrar - Análisis Espectral. Morocho & Sarmiento (2020).



Resultados

En las tablas 2.25 y 2.26 se exponen los modos de vibrar en los sentidos (x) y (y) respectivamente. Se observa lo siguiente:

- En la dirección (x) el tercer modo de vibrar acumula mayor cantidad de masa desplazada, representando el 51,66% del valor total de la masa desplazada en este sentido.
- En la dirección (y) el segundo modo de vibrar acumula la mayor cantidad de masa desplazada, representando el 37,68% del valor total de la masa desplazada en este sentido. Los siguientes modos que desplazan mayor cantidad de masa, son el tercer y cuarto modo con 18,82% y 11,16% respectivamente.
- Los modos que mayor masa desplazan en sus respectivos periodos, son aquellos que mayor afección generan a la estructura.
- Al evaluar los primeros 20 modos de vibrar, se verifica que su sumatoria en porcentaje de desplazamiento de masa, constituye aproximadamente el 80% de masa total desplazada.

Tabla 2.25: Masa desplazada en dirección X (Mastx)			
		Masa Total (Kg)	3346416,24
Modo de vibrar	Periodo (sg)	Masa en X (Kg)	% de Masa en X
1	0,3695	1551,41	0,05
2	0,3239	513388,88	15,34
3	0,2853	1729024,36	51,67
4	0,2063	505,04	0,02
5	0,1988	98,16	0,00
6	0,1956	21239,30	0,63
7	0,1884	76812,40	2,30
8	0,1842	8483,01	0,25
9	0,1736	5225,09	0,16
10	0,1582	32860,79	0,98
11	0,1521	504,29	0,02
12	0,1516	970,19	0,03
13	0,1511	1084,84	0,03
14	0,1397	179,48	0,01
15	0,1319	130296,83	3,89
16	0,1295	529,82	0,02
17	0,1198	471959,10	14,10
18	0,1150	2707,98	0,08
19	0,1147	76,32	0,00
20	0,1111	10452,62	0,31
% Total de masa desplazada en X (20 Modos de vibrar)		89,89	

Tabla 2.25 Masa desplazada en (x). Morocho & Sarmiento (2020).

Tabla 2.26: Masa desplazada en dirección Y (Masty)			
		Masa Total (Kg)	3346416,24
Modo de vibrar	Periodo (sg)	Masa en Y (Kg)	% de Masa en Y
1	0,3695	16295,62	0,49
2	0,3239	1260939,22	37,68
3	0,2853	629863,38	18,82
4	0,2063	24408,17	0,73
5	0,1988	1692,34	0,05
6	0,1956	37816,53	1,13
7	0,1884	373615,16	11,16
8	0,1842	121485,66	3,63
9	0,1736	42,51	0,00
10	0,1582	18315,09	0,55
11	0,1521	7788,73	0,23
12	0,1516	819,70	0,02
13	0,1511	1738,24	0,05
14	0,1397	225004,30	6,72
15	0,1319	2645,32	0,08
16	0,1295	82,60	0,00
17	0,1198	7430,97	0,22
18	0,1150	101,39	0,00
19	0,1147	203,50	0,01
20	0,1111	746,45	0,02
% Total de masa desplazada en Y (20 Modos de vibrar)		81,61	

Tabla 2.26 Masa desplazada en (y). Morocho & Sarmiento (2020).



110 Visualización de resultados obtenidos

Las figuras expuestas a continuación (figura 2.27 y 2.28) ilustran el movimiento de la edificación en sus dos modos de vibrar predominantes para cada dirección.

Dirección (x)

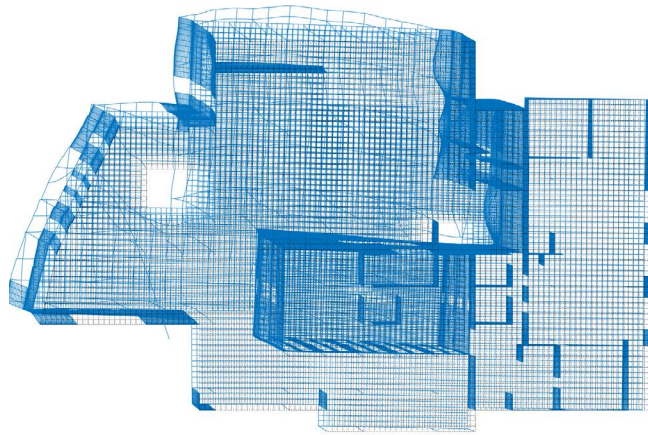
- > **Masa total desplazada**
3346416,24 kg
- > **Masa desplazada en el 3er modo de vibrar**
1729024,36 kg

- > **Porcentaje de masa desplazada**
51,67%

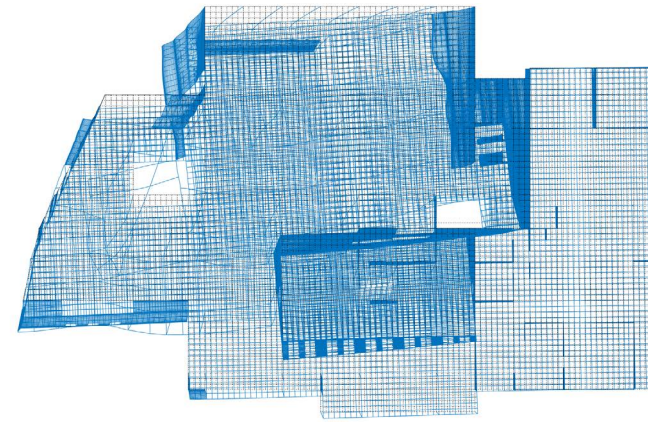
Dirección (y)

- > **Masa total desplazada**
3346416,24 kg
- > **Masa desplazada en el 2do modo de vibrar**
1260939,22 kg

- > **Porcentaje de masa desplazada**
37,68%



(a) Tercer modo de vibrar: modo relevante de movimiento en (x)



(b) Segundo modo de vibrar: modo relevante de movimiento en (y)

Figura 2.33 Modos de vibrar en planta. Morocho & Sarmiento (2020).



(a) Video del tercer modo de vibrar: modo relevante de movimiento en (x)



(b) Video del segundo modo de vibrar: modo relevante de movimiento en (y)

Figura 2.34 Códigos QR (Visualización en video). Morocho & Sarmiento (2020).

Derivas de paredes - Normativa

La normativa NEC (2014) define a una deriva de pared como un desplazamiento lateral relativo generado particularmente por la acción de una fuerza horizontal con respecto al altura del muro. Estos valores expuestos se emplean para el análisis de las derivas de paredes, conforme a lo estipulado en la NEC 2014. Los siguientes valores presentan márgenes para interpretar las derivas de pared:

- > En caso de estructuras de hormigón armado: si el valor de la deriva máxima es mayor al 2% de la altura de piso considerada, el elemento excede la deriva permisible y por tanto corre riesgo de afectarse considerablemente.
- > En caso de estructuras de mampostería: si el valor de la deriva máxima es mayor al 1% de la altura de piso considerada, el elemento excede la deriva permisible y por tanto corre riesgo de afectarse considerablemente.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 8 : Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Figura 2.35 Derivas máximas permisibles. NEC (2014).

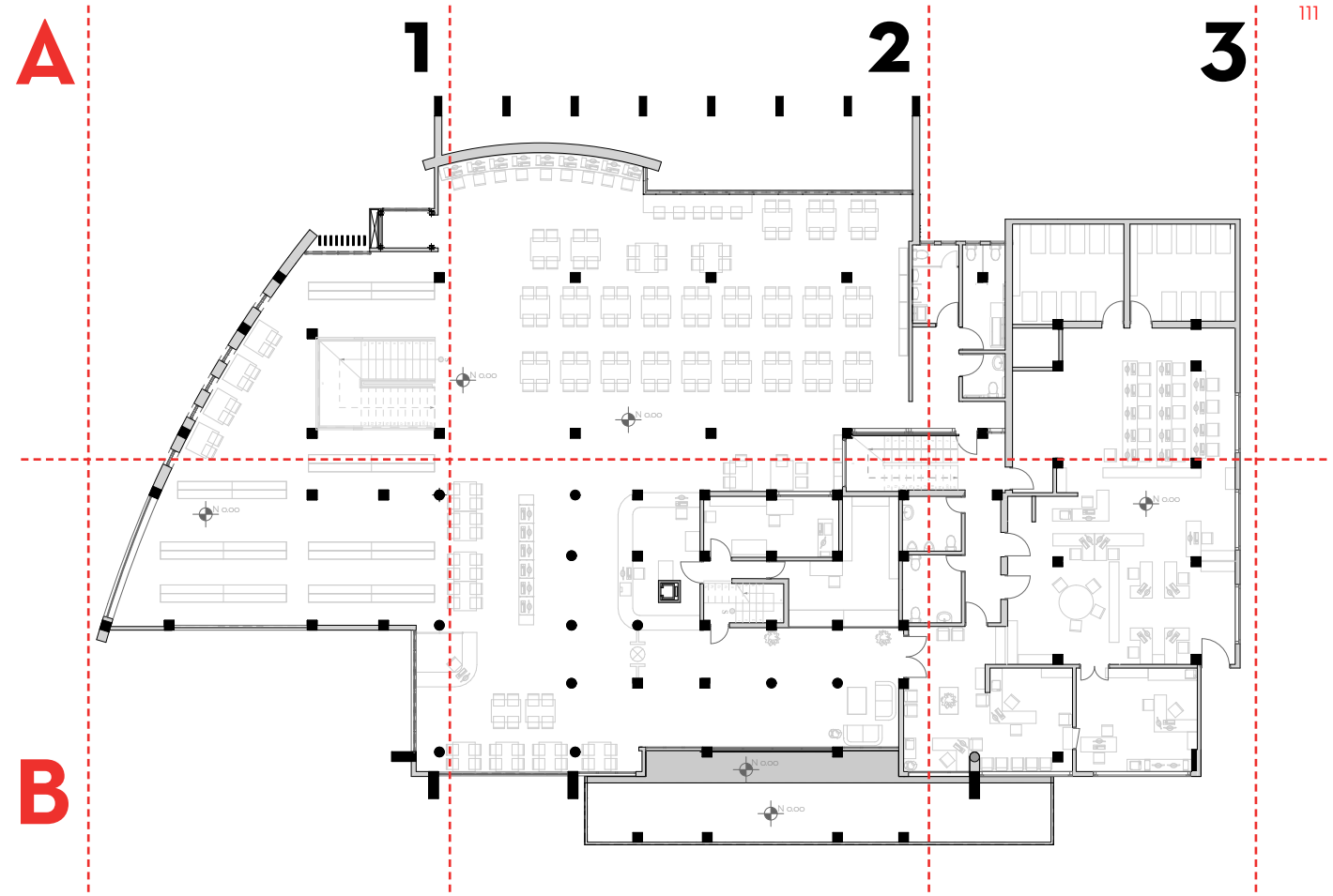


Figura 2.36 Planta Baja con división por cuadrantes en dirección X y Y. Morocho & Sarmiento (2021).





Fraccionamiento por cuadrantes

En función de los rangos establecidos por la normativa NEC (2014) se procede a realizar un fraccionamiento de cada nivel por cuadrantes: dos cuadrantes en dirección (y) y tres cuadrantes en dirección (x) en función de la longitud predominante y con la finalidad de aproximar más el análisis de derivas obtenidas (Fig. 2.36).

Debido a la extensión del edificio, el fraccionamiento por cuadantes permitirá conocer con mayor precisión los valores máximos de derivas en cada dirección y por cada zona. Los cuadrantes propuestos determinan 6 zonas a analizarse en total: A1, A2, A3, B1, B2 y B3.

A continuación se exponen los datos y gráficos obtenidos de la Planta Baja (Nivel 0,00) en función del cálculo realizado en MATLAB, el cual arroja la deriva máxima de cada zona establecida.

Tabla 2.27 Derivas en (x) - Planta Baja. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.28 Derivas en (y) - Planta Baja.Morocho & Sarmiento (2021).

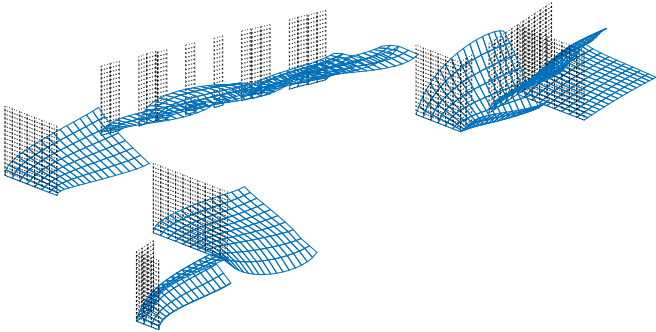
Figura 2.37 Gráficos de derivas por cuadrantes. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.27: derivas máximas (x) según cuadrantes - Planta Baja Nivel +/- 0,00				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h	3,60			
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax (x)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en x (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0040	dmax (x)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0017	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0018	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0040	dmax (x)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0016	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"

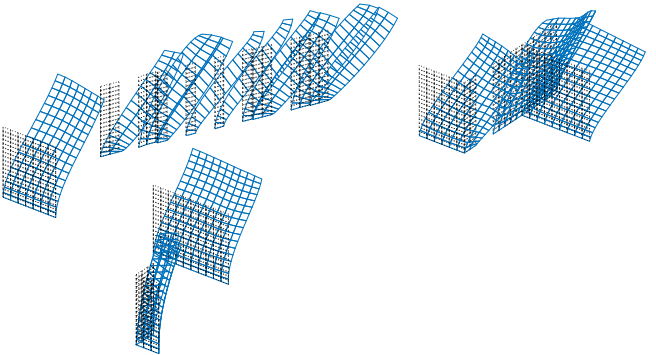
Tabla 2.28: derivas máximas (y) según cuadrantes - Planta Baja Nivel +/- 0,00				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h	3,60			
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax (y)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en y (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0048	dmax (x)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0029	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0028	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0048	dmax (x)	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0010	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"



1

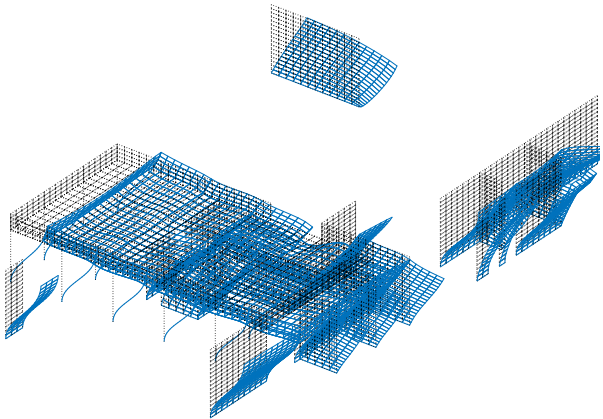


(a) Cuadrante 1 - Deriva en (x) - Planta Baja Nivel +0,00

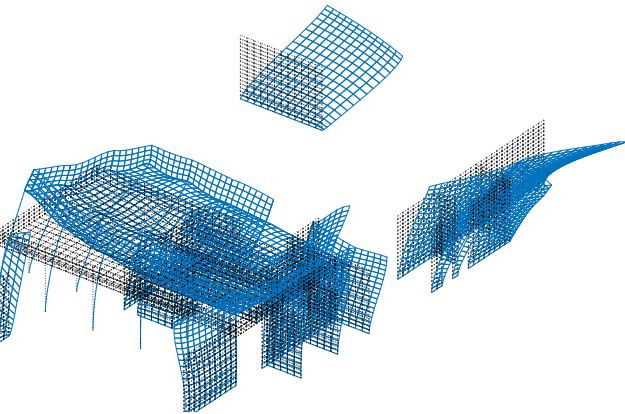


(d) Cuadrante 1 - Deriva en (y) - Planta Baja Nivel +0,00

2

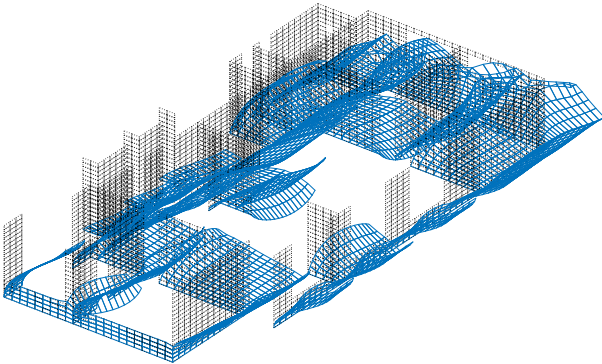


(b) Cuadrante 2 - Deriva en (x) - Planta Baja Nivel +0,00

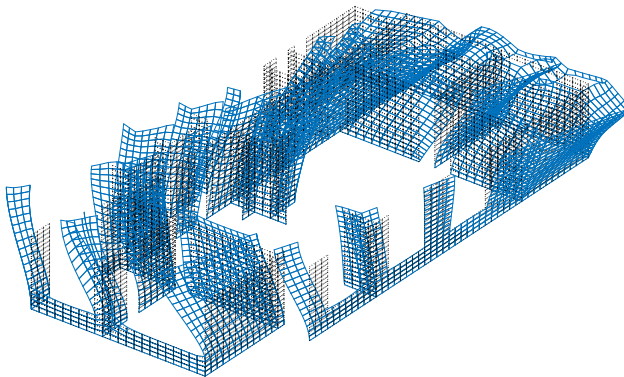


(e) Cuadrante 2 - Deriva en (y) - Planta Baja Nivel +0,00

3



(c) Cuadrante 3 - Deriva en (x) - Planta Baja Nivel +0,00



(f) Cuadrante 3 - Deriva en (y) - Planta Baja Nivel +0,00



114 Derivas en paredes - Planta Baja Nivel +0,00

Derivas máximas según zonas

Según las zonas determinadas, se procede a verificar las derivas máximas y comparar con los rangos establecidos por la Normativa NEC (2014). Adicionalmente, se cuantifica la cantidad de metros lineales existentes por cada planta y su cuantificación porcentual con respecto a la totalidad de paredes del nivel. Finalmente se establecen dos grandes categorías del total de paredes:

➤ Sumatoria de paredes con **mayor deriva** por piso

➤ Sumatoria de paredes con **menor deriva** por piso

Es importante destacar que de todos los datos obtenidos, ***ninguna deriva de pared sobrepasa el máximo permitido por la normativa***, sin embargo, se identifican las paredes que poseen rangos más elevados de derivas con la finalidad de destacar estos elementos y otorgar mayor atención a estas zonas y se procede a resaltar los elementos que poseen mayor deriva. Al finalizar este procedimiento por cada nivel, se cuantifica la totalidad de paredes de la edificación para categorizar y determinar la vulnerabilidad del mismo.

Tabla 2.29 Derivas máximas - Planta Baja. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.29: derivas máximas según zonas - Planta Baja Nivel +0,00					
Zona	dmax (x)	dmax (y)	Interpretación según la NEC	metros lineales (ml)	porcentaje (%)
A1	0,0018	0,0028	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	21,50	7,79%
A2	0,0040	0,0048	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"	38,87	14,09%
A3	0,0016	0,0010	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	65,65	23,80%
B1	0,0018	0,0028	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	25,70	9,32%
B2	0,0017	0,0029	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	61,50	22,29%
B3	0,0016	0,0010	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	62,65	22,78%
Total de paredes				275,87	
Sumatoria de paredes con mayor deriva por piso (otorgar atención a estos elementos)				38,87	14,09%
Sumatoria de paredes con menor deriva por piso				237,00	85,91%

Derivas en paredes
Primera Planta Alta Nivel +3,80

En las tablas 2.31 y 2.32 se estipulan las derivas máximas según cada cuadrante. En la tabla 2.30 se exponen las derivas máximas por cada zona y su cuantificación porcentual con respecto a la totalidad de paredes del nivel.

Tabla 2.30: derivas máximas según zonas - Primera Planta Alta Nivel +3,80					
Zona	dmax (x)	dmax (y)	Interpretación según la NEC	metros lineales (ml)	porcentaje (%)
A1	0,0047	0,0052	"cumple"	21,50	12,20%
A2	0,0060	0,0073	"deriva máxima detectada"	38,87	22,06%
A3	0,0046	0,0025	"cumple"	26,36	14,96%
B1	0,0047	0,0052	"cumple"	21,60	12,26%
B2	0,0040	0,0051	"cumple"	63,83	36,22%
B3	0,0046	0,0025	"cumple"	4,05	2,30%
Total de paredes				176,21	
Sumatoria de paredes con mayor deriva por piso (otorgar atención a estos elementos)				38,87	22,06%
Sumatoria de paredes con menor deriva por piso				137,34	77,94%

Tabla 2.30 Derivas máximas - Primera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).



115 Derivas en paredes - Primera Planta Alta Nivel +3,80

Tabla 2.32: derivas máximas (y) según cuadrantes - Primera Planta Alta Nivel +3,80				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h	3,60			
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en y (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0073	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0051	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0052	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0073	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0025	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"

Tabla 2.32 Derivas máximas (y) - Primera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.31: derivas máximas (x) según cuadrantes Primera Planta Alta Nivel +3,80				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h	3,60			
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en x (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0060	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0040	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0047	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0060	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0046	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"

Tabla 2.31 Derivas máximas (x) - Primera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).



116 Derivas en paredes
Segunda Planta Alta Nivel +7,40

En las tablas 2.31 y 2.32 se estipulan las derivas máximas según cada cuadrante. En la tabla 2.30 se exponen las derivas máximas por cada zona y su cuantificación porcentual con respecto a la totalidad de paredes del nivel.

Tabla 2.33: derivas máximas según zonas - Segunda Planta Alta Nivel +7,60					
Zona	dmax (x)	dmax (y)	Interpretación según la NEC	metros lineales (ml)	porcentaje (%)
A1	0,0069	0,0072	*cumple*	21,50	12,55%
A2	0,0074	0,0088	*deriva máxima detectada*	36,97	21,58%
A3	0,0068	0,0037	*cumple*	26,36	15,39%
B1	0,0069	0,0072	*cumple*	21,60	12,61%
B2	0,0040	0,0071	*cumple*	60,84	35,51%
B3	0,0068	0,0037	*cumple*	4,05	2,36%
Total de paredes				171,32	
Sumatoria de paredes con mayor deriva por piso (otorgar atención a estos elementos)				36,97	21,58%
Sumatoria de paredes con menor deriva por piso				134,35	78,42%

Tabla 2.33 Derivas máximas - Segunda Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.34: derivas máximas según cuadrantes - Segunda Planta Alta Nivel +7,40					
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)					
h		3,60			
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"			
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"			
Caso 3	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"			
Cuadrante	dirección	d en x (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC	
A	y	0,0074	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"	
B		0,0040	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	
1	x	0,0069	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	
2		0,0074	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"	
3		0,0068	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	

Tabla 2.34 Derivas máximas (x) - Segunda Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.35: derivas máximas según cuadrantes - Segunda Planta Alta Nivel +7,40				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h		3,60		
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en y (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0088	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0071	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0072	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0088	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0037	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"

Tabla 2.35 Derivas máximas (y) - Segunda Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Derivas en paredes
Tercera Planta Alta Nivel +11,40

En las tablas 2.31 y 2.32 se estipulan las derivas máximas según cada cuadrante. En la tabla 2.30 se exponen las derivas máximas por cada zona y su cuantificación porcentual con respecto a la totalidad de paredes del nivel.

Tabla 2.36: derivas máximas según zonas - Tercera Planta Alta Nivel +11,40					
Zona	(x)	(y)	Interpretación según la NEC	metros lineales (ml)	porcentaje (%)
A1	0,0097	0,0072	*cumple*	21,85	15,16%
A2	0,0111	0,0096	*deriva máxima detectada*	36,97	25,65%
A3	0,0096	0,0037	*cumple*	26,36	18,29%
B1	0,0097	0,0072	*cumple*	6,30	4,37%
B2	0,0060	0,0076	*cumple*	48,62	33,73%
B3	0,0096	0,0037	*cumple*	4,05	2,81%
Total de paredes				144,15	
Sumatoria de paredes con mayor deriva por piso (otorgar atención a estos elementos)				36,97	25,65%
Sumatoria de paredes con menor deriva por piso				107,18	74,35%

Tabla 2.36 Derivas máximas - Tercera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.37: derivas máximas según cuadrantes - Tercera Planta Alta Nivel +11,40				
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)				
h		3,60		
Caso 1	>0,036	"infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"		
Caso 2	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"		
Caso 3	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"		
Cuadrante	dirección	d en x (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC
A	y	0,0111	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
B		0,0060	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
1	x	0,0097	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"
2		0,0111	dmax	"deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"
3		0,0096	<0,036	"cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"

Tabla 2.37 Derivas máximas (x) - Tercera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.38: derivas máximas según cuadrantes - Tercera Planta Alta Nivel +11,40					
Rango d=0,01h (rango según la NEC 2014)					
h		3,60			
Caso 1	>0,036	*infringe el límite permisible, puede presentar daños considerables"			
Caso 2	<0,036	*cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"			
Caso 3	dmax	*deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"			
Cuadrante	dirección	d en y (deriva)	d=0,01h (rango según la NEC 2014)	Interpretación según la NEC	
A	y	0,0096	dmax	*deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"	
B		0,0076	<0,036	*cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	
1	x	0,0072	<0,036	*cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	
2		0,0096	dmax	*deriva máxima detectada por piso, otorgar atención a esta zona"	
3		0,0037	<0,036	*cumple con el límite permisible, no se presentarán daños"	

Tabla 2.38 Derivas máximas (y) - Tercera Planta Alta. Morocho & Sarmiento (2021).



La normativa NEC (2014) define a una deriva de piso como un desplazamiento lateral relativo, generado particularmente por la acción de una fuerza horizontal, con respecto al piso consecutivo, es decir, se calcula restando el desplazamiento del extremo superior con el desplazamiento del extremo inferior del piso. Los siguientes valores presentan márgenes para interpretar los valores correspondientes a las derivas de piso:

- Si el valor de la deriva es igual o mayor a 0,006, el edificio corre riesgo de colapso.
- Si el valor de la deriva es superior a 0,003 y menor a 0,006 se presentarán daños considerables
- Si el valor de la deriva es inferior a 0,003, el edificio no presentará daños considerables.

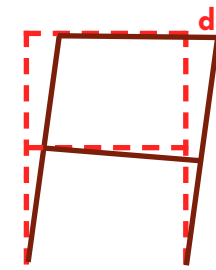


Figura 2.28 Gráfico de representación de derivas. Morocho & Sarmiento (2020).

La siguientes tablas 2.27 y 2.28 evidencian los datos de las derivas de piso existentes en todo el edificio, y se obtienen las siguientes conclusiones:

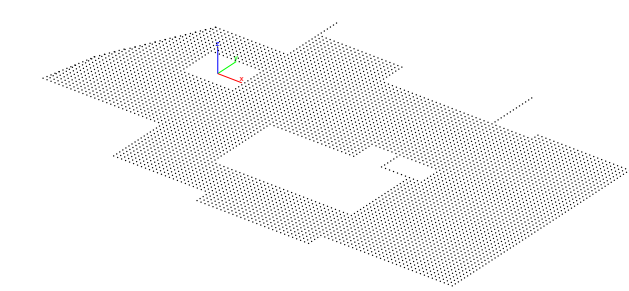
- En los niveles correspondientes a la Segunda Planta Alta y a la Cubierta, se visualiza una mayor deriva en el sentido del eje Y.
- En los niveles correspondientes a la Primera Planta Alta y a la Cubierta, se visualiza una deriva mayor, en contraste con la Segunda Planta Alta, la cual posee una deriva inferior a las demás en el sentido del eje X.
- Al analizar los gráficos, es posible detectar que el edificio posee una mayor deriva en su parte posterior, además se puede evidenciar que el muro señalado en la figura 2.25 presenta mayor movimiento con respecto al resto de paredes.
- Al observar las deformaciones y desplazamientos, es posible concluir que el área con mayor desplazamiento o deriva corresponde a la parte de ocupación por el público, específicamente la zona de lectura, en la que se desarrollan las actividades más comunes de la biblioteca.

Tabla 2.39 Deriva X		
	Nivel	Deriva
Cubierta	15,00m	0,0031057m
3era Planta Alta	11,20m	0,0025191m
2da Planta Alta	7,40m	0,00091664m
1era Planta Alta	3,60m	0,0040051m
Plana Baja	0,00m	-

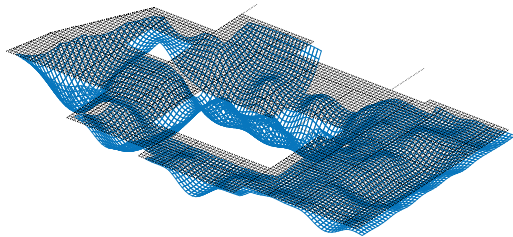
Tabla 2.40 Deriva Y		
	Nivel	Deriva
Cubierta	15,00m	-0,005193m
3era Planta Alta	11,20m	0,0020062m
2da Planta Alta	7,40m	0,0046096m
1era Planta Alta	3,60m	0,0020164m
Plana Baja	0,00m	-

Tabla 2.39 - Tabla 2.40 Derivas en (x) y (y). Morocho & Sarmiento (2020).

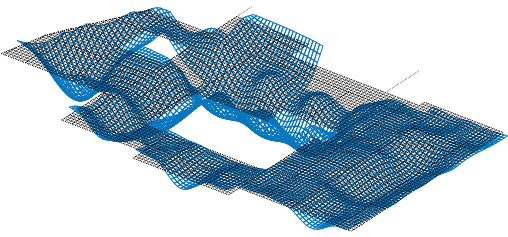
Figura 2.38 Derivas en (x) y (y) - Plantas. Morocho & Sarmiento (2020).



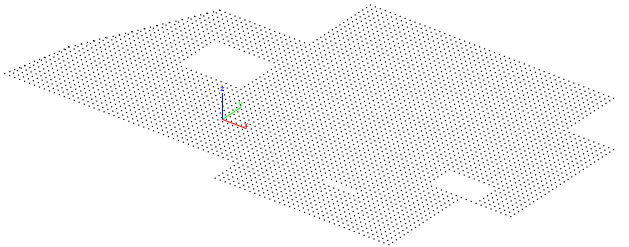
(a) Planta Baja - Base



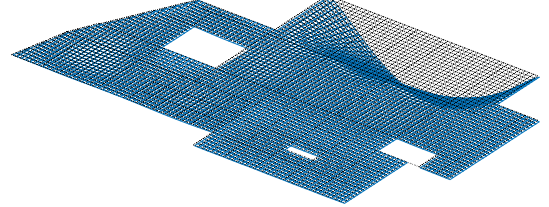
(b) Planta Baja Deriva en x



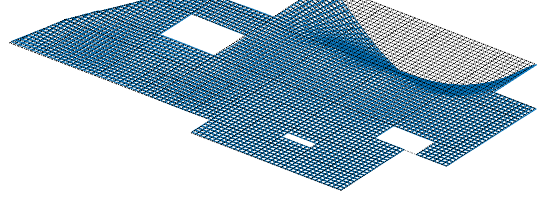
(c) Planta Baja Deriva en y



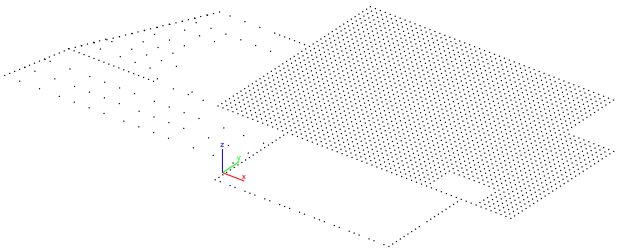
(d) Primera planta alta base - Base



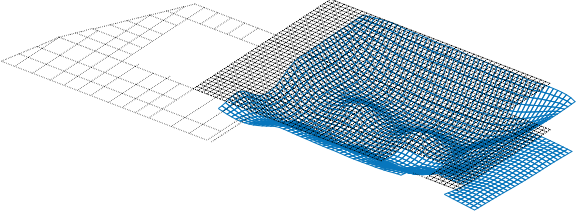
(e) Primera planta alta Deriva en x



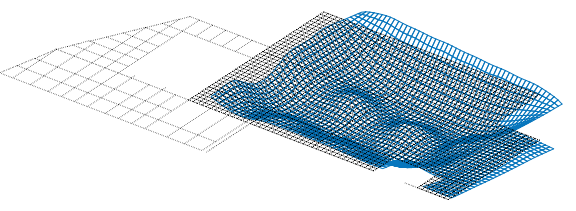
(f) Primera planta alta Deriva en y



(g) Segunda Planta Alta - Base



(h) Segunda Planta Alta Deriva en x



(i) Segunda Planta Alta Deriva en y

120 Derivas: interpretación de resultados

Como se ha mencionado anteriormente, el contexto nacional indica que en caso de un evento sísmico, la institución u organismo involucrado debe conocer el estado general del edificio y su probable comportamiento ante un sismo, ubicando las zonas seguras e inseguras del mismo (SNGR, 2010).

Con los datos obtenidos de las derivas de cada piso y las derivas de paredes, es posible detectar las zonas cuyas derivas excede los valores indicados en la normativa NEC (2014). Por lo tanto, a continuación se exponen los datos e interpretaciones objetivas sobre los datos obtenidos de derivas en paredes y losas. En las figuras (2.39 - 2.41) se contraponen los datos de derivas de piso y mampostería, con la finalidad de obtener una apreciación integrada y completa de los datos obtenidos.

En losas

- Deriva permisible
- Deriva excesiva

Las derivas de losa de todos los niveles de la edificación poseen dos rangos de categoría: *derivas excesivas* (zonas críticas) y las *derivas permisibles*, zonas cuya deriva está dentro de los valores permisibles (zonas seguras).

Según la normativa NEC (2014) existen zonas en esta edificación que superan al rango intermedio ($d > 0,003$) y por tanto presentarán daño considerable en caso de sismo.

> Planta Baja Nivel +0,00

En este piso las zonas que presentan valores de derivas excesivas corresponden a la zona posterior del edificio y las zonas de sanitarios (Figura 2.30).

Es importante recalcar que la zona de evacuación de este nivel posee un valor elevado de deriva. Por este motivo, se debe considerar reforzar esta zona por precautelar la seguridad de los ocupantes en caso de evacuación.

> Primera Planta Alta Nivel +3,80 - Segunda Planta Alta Nivel +7,60 y Tercera Planta Alta Nivel +11,40

En estos pisos, las zonas que presentan valores de derivas excesivas corresponden a la zona posterior del edificio, las zonas de sanitarios y las escaleras de circulación de personal administrativo (Figuras 2.31-2.33).

Es importante recalcar que la zona de las escaleras de circulación de personal administrativo podría servir como zona de evacuación en caso de sismo, por lo tanto los datos expuestos deben ser considerados.

La información expuesta referente a derivas de piso se consolida como una contribución a las disposiciones actuales de los planes de riesgo (SNGR, 2014) normados para edificaciones de esta escala, ya que se presentan datos e interpretaciones objetivas sobre el estado de vulnerabilidad sísmica del edificio, indicando que existen zonas vulnerables en caso de un sismo.

En paredes

- Mampostería con menor deriva
- Mampostería con mayor deriva

Las derivas de paredes de todos los niveles de la edificación cumplen con el rango permisible estipulado por la Normativa NEC (2014).

Como ya se indicó anteriormente, se resaltan las paredes cuyas derivas fueron más elevadas. Estos elementos de mampostería identificados coinciden con las zonas de losa identificadas con derivas excesivas.

A continuación en la tabla 2.41 se expone una cuantificación total de las paredes de la edificación según las categorías especificadas. Al procesar e interpretar estos datos se puede aproximar a obtener una apreciación de la vulnerabilidad sísmica del edificio.

Es importante recalcar que, en planta baja, la zona de evacuación de este nivel posee mampostería con derivas elevadas. Por este motivo, se debe considerar prestar la debida atención a esta zona, ya que el espacio está identificado como zona de evacuación y es necesario precautelar la seguridad de los ocupantes en caso de evacuación.

Tabla 2.41: Total de paredes según la categorización NEC				
Nivel	metros lineales en total (ml)	categorización NEC	metros lineales en total (ml)	categorización NEC
Planta Baja Nivel 0,00	38,87	"deriva máxima detectada, otorgar atención a esta zona"	237,00	" deriva permisible, no se presentarán daños"
Primera Planta Alta +3,80	38,87		137,34	
Segunda Planta Alta +7,60	36,97		134,35	
Tercera Planta Alta +11,40	36,97		107,18	
Total (ml)	151,68		615,87	

Tabla 2.42: Categorización según el porcentaje de paredes a afectarse en caso de sismo		
Categoría	Total (ml)	Porcentaje
Total de paredes	767,55	100,00%
Sumatoria de paredes con menor deriva por piso	615,87	80,24%
Sumatoria de paredes con mayor deriva por piso (otorgar atención a estos elementos)	151,68	19,76%

Tabla 2.41 Categorización de paredes (total). Morocho & Sarmiento (2021).

Tabla 2.42 Categorización de paredes (porcentual). Morocho & Sarmiento (2021).

Estado de vulnerabilidad de la edificación

En función a los resultados obtenidos, se puede observar que las paredes con mayor deriva no superan el 20%, por ende, el 80,24% de las paredes existentes en la edificación, no presentarán ningún riesgo de colapso ni afectación a los ocupantes en caso de sismo.

Por lo tanto, los porcentajes obtenidos de derivas de mampostería en la edificación llevan a este estudio a la siguiente conclusión:

Al poseer más del 80% de sus elementos funcionales estructuralmente en caso de sismo, se determina que la vulnerabilidad sísmica de la edificación es baja.

En este caso, derminar el estado de vulnerabilidad sísmica de la edificación es clave para actualizar planes de mitigación de desastres, que son parte fundamental de un proceso de aplicación de estrategias determinadas para reducir riesgos en caso de sismos.

El conocimiento de la naturaleza del comportamiento de las edificaciones esenciales ayuda a garantizar la capacidad de su respuesta estructural.

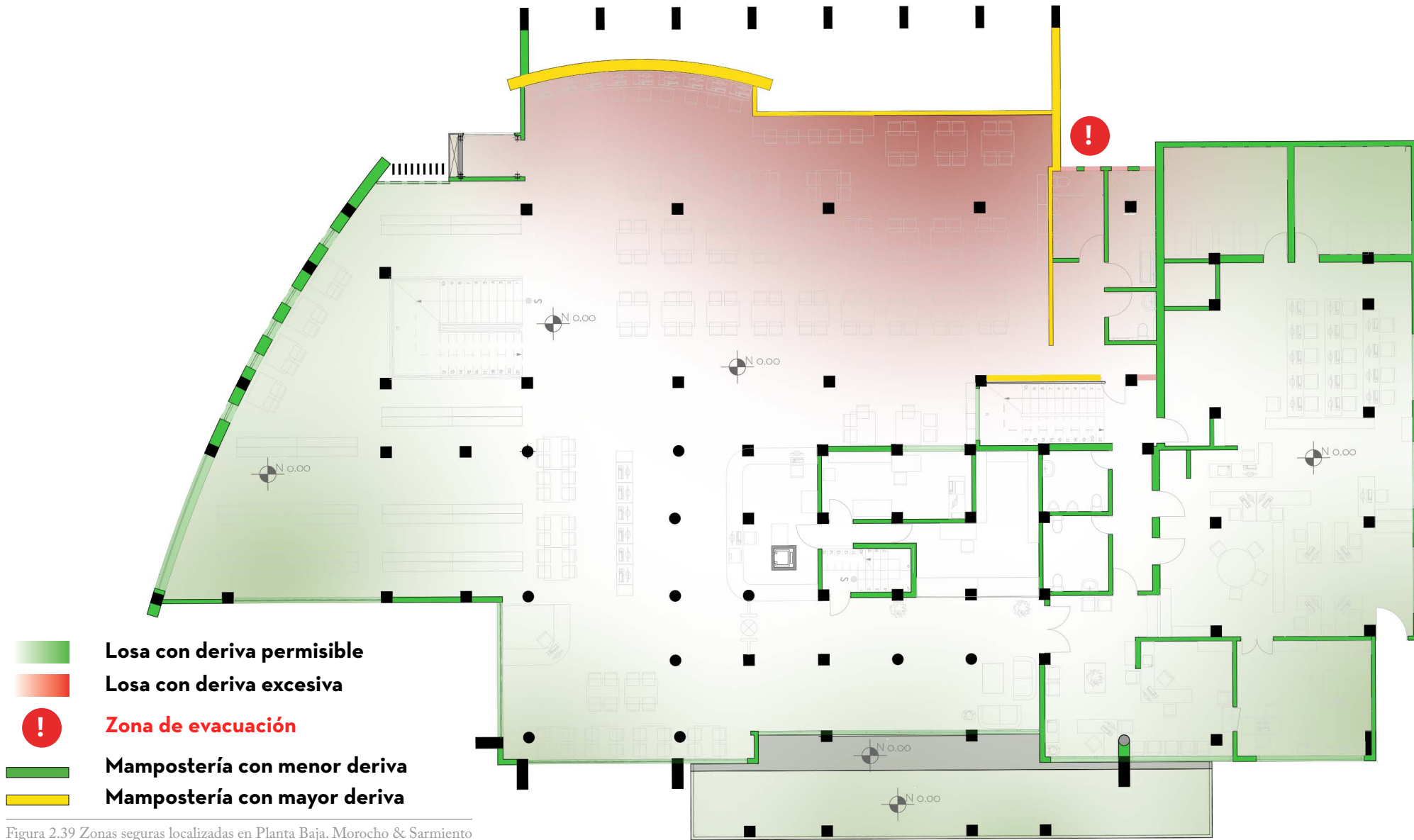
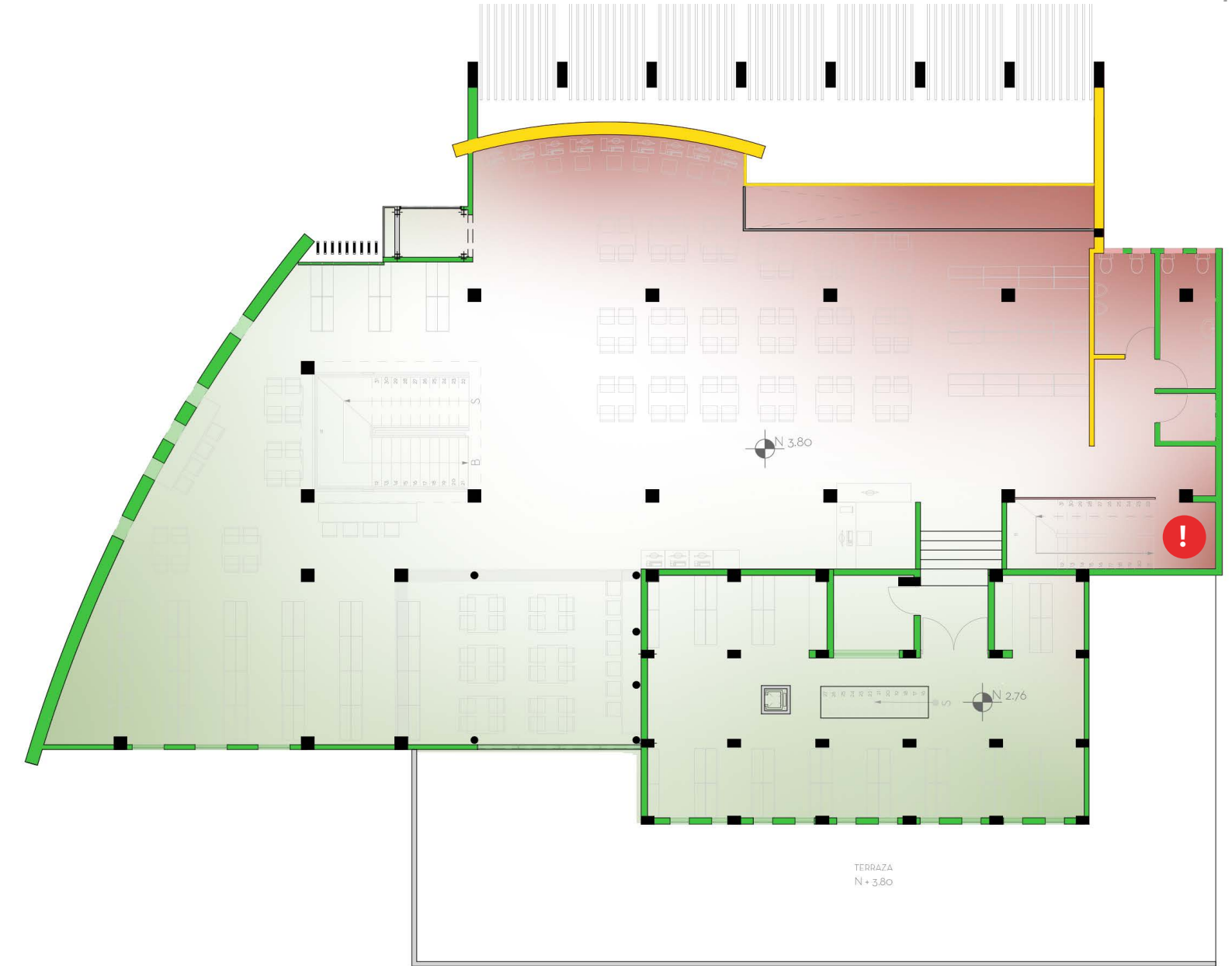
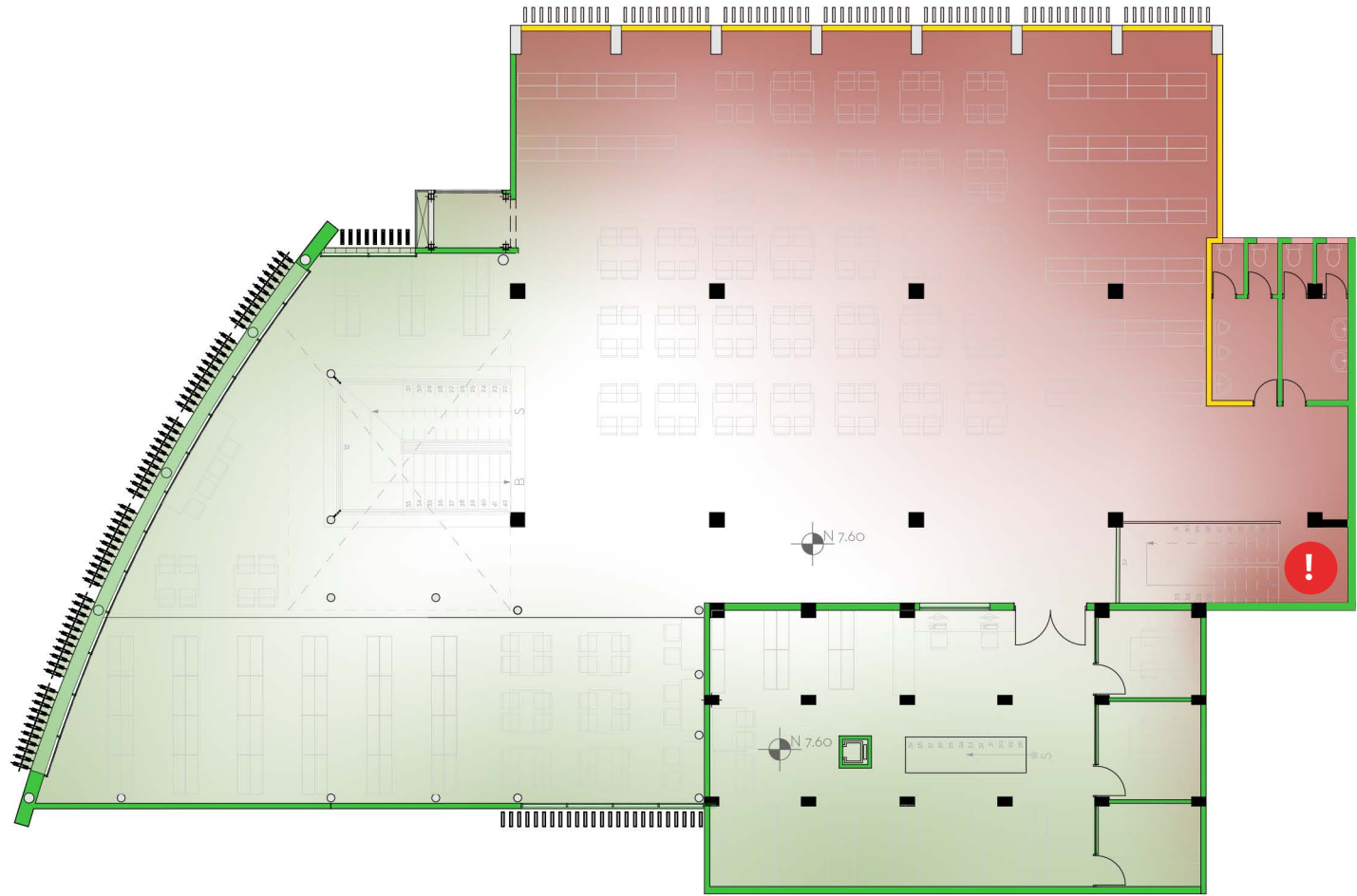


Figura 2.39 Zonas seguras localizadas en Planta Baja, Morocho & Sarmiento (2020).

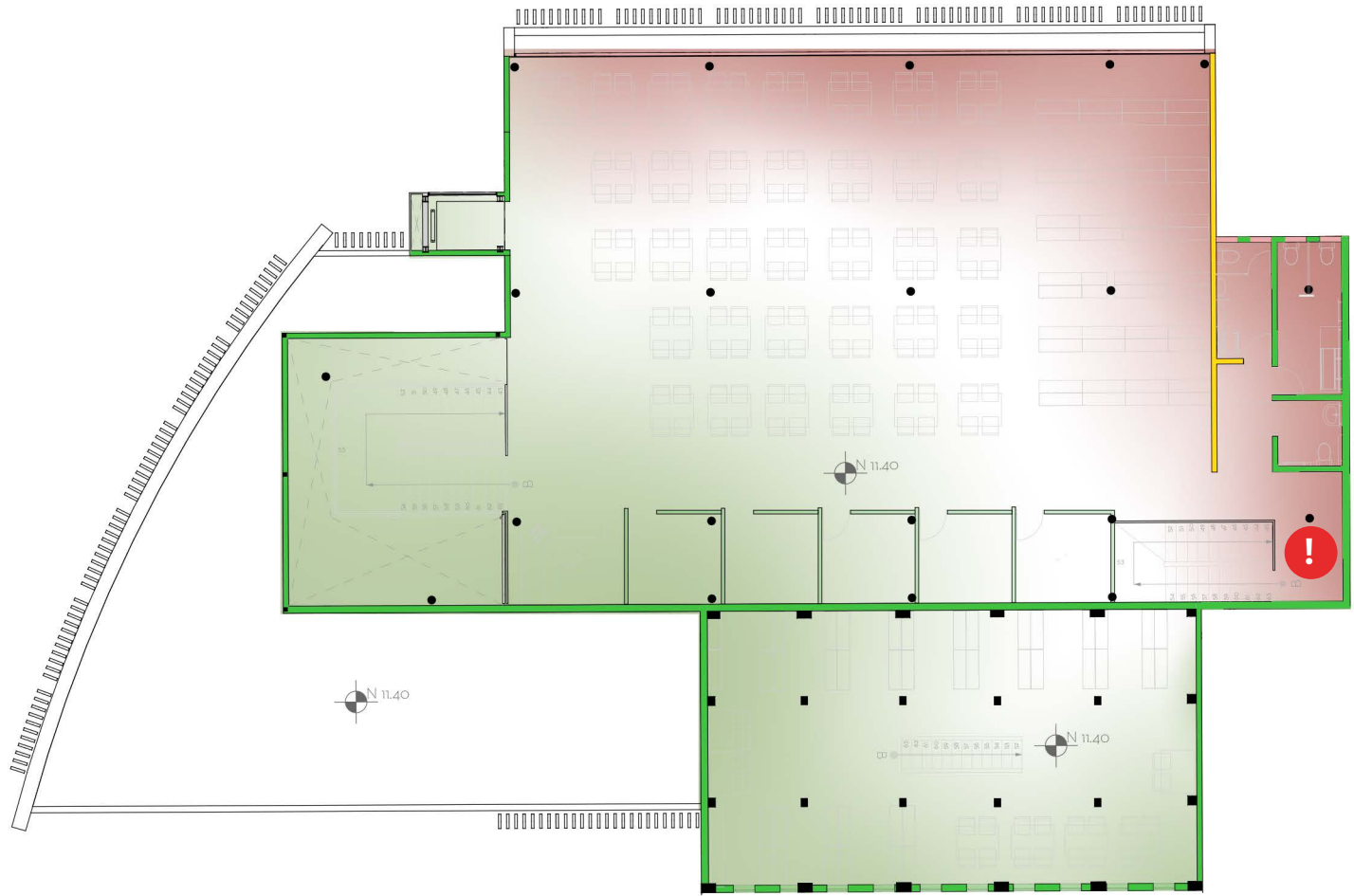




124



125





Los resultados obtenidos en este procedimiento de análisis de vulnerabilidad sísmica resaltan la importancia de este factor debido a la exposición y suceptibilidad de las edificaciones en nuestro territorio. Múltiples eventos, determinantes externas y características propias detontan la vulnerabilidad en una zona determinada (SGR, 2014), adicionalmente es frecuente encontrar que las edificaciones de mampostería construidas en países en desarrollo no siguen una cultura constructiva basada en la sismo-resistencia, debido al incumplimiento de la aplicación de la normativa o simplemente a su desconocimiento o inexistencia (Maldonado et al., 2017).

Diversos autores como Mena (2002), Jiménez (2002), Yépez (1996) y Castillo (2005), han generado modelos para estimar daños y afectaciones en edificaciones con la finalidad de detectar las probabilidades de daño y vulnerabilidad. Sin embargo, según Rebotier (2016) las contribuciones a la gestión de riesgos desde la universidad son técnicas, operacionales y de aplicación, que están destinadas a solucionar los problemas que se plantean en el territorio para las diferentes instituciones públicas y por lo tanto, su relevancia radica en la capacidad para insertar estas iniciativas académicas en la acción y discusión en la acción pública.

El escenario sísmico proyectado en esta aplicación metodológica evidencia las debilidades del caso de estudio, poniendo en consideración la importancia de generar procesos de detección de riesgos para disminuir la vulnerabilidad de una edificación en particular. Al tener conocimiento de las zonas que amenazan la integridad y el comportamiento estructural del caso de estudio, es posible proponer acciones de mitigación de riesgos (SGR, 2014). En este caso, se ha detectado las zonas de afectación, las cuales se definen como el nivel de alteración funcional que podría experimentar una estructura o edificación y que están directamente relacionadas con la vulnerabilidad del edificio.

Las zonas de afectación detectadas corresponden principalmente a espacios de salida de emergencia en el caso de la planta baja (ver fig. 2.30) y a las escaleras de circulación del personal administrativo, el cual también es considerado como un canal de evacuación en caso de emergencia (ver fig. 2.31). Por este motivo, los datos detectados evidencian la vulnerabilidad de la edificación y se exhorta a considerar dicha información para la procedimientos operacionales que garanticen la seguridad de los ocupantes en planes de gestión de riesgos.

En consideración de la información obtenida y de la discusión académica analizada (Maldonado et al. 2017; Mena, 2002; Jiménez, 2002; Yépez, 1996; Castillo, 2005; Rebotier, 2017) se anexa a esta investigación un **Manual Práctico de Análisis Modal**, con la finalidad de difundir la metodología planteada y que se amplie el alcance de la investigación y los procedimientos planteados, exhortando la necesidad de trasladar dichos resultados a acciones que precautelen la seguridad en edificaciones.



*«Podemos juzgar el progreso por la valentía de las preguntas
y la profundidad de las respuestas.»*
Carl Sagan

03

Capítulo
Conclusiones



CONCLUSIONES

La ciudad de Cuenca según Jiménez y otros autores (2018) se identifica como una ciudad con alta amenaza sísmica debido a su situación geográfica (NEC, 2014), adicionalmente existen estudios que evidencian la elevada probabilidad de colapso para ciertas edificaciones de mampostería (García y Denegrade, 2017). Esta situación, sumada a la falta de datos históricos de los daños estructurales causados por los sismos, ocasiona que no se considere el diseño sismoresistente en edificaciones del contexto local.

Esta investigación presenta una metodología integrada y clara para evaluar el desempeño sísmico de edificaciones de mayor escala y ocupación, con la finalidad de reducir su vulnerabilidad ante movimientos telúricos, y que se consolida como una aproximación práctica de evaluación estructural, la cual puede ser replicada y escalada en otras edificaciones que pertenezcan, o no, al contexto local.

La edificación seleccionada como caso de estudio, *categorizada con vulnerabiliad sísmica baja*, presentó varias condicionantes, las cuales permitieron considerar diversas particularidades en una sola edificación, entre ellas: variación en la materialidad de los elementos estructurales, elevada complejidad en su configuración arquitectónica debido a las múltiples intervenciones a las cuales fue sometida hasta la actualidad y su dimensión y escala espacial.

La aproximación metodológica propuesta para analizar esta edificación permitió integrar varias dinámicas: levantamiento arquitectónico, aplicación de ensayos no destructivos, generación de un modelo BIM y un modelo matemático. Todas estas variables se integraron en un solo proceso sistemático para conocer el comportamiento que un edificio presentará ante un sismo y las zonas de mayor seguridad para los ocupantes del mismo.

Cada uno de los procesos realizados se consolida como un componente clave en el proceso: la ejecución de ensayos no destructivos en sitio proporcionaron datos esenciales para conocer la resistencia de los elementos estructurales de la edificación; la integración de un modelo tridimensional facilitó la comprensión del sistema estructural de la edificación y permitió generar de manera más eficiente un modelo de gran escala; y el modelo matemático permitió incorporar una gran cantidad de datos pertenecientes a las propiedades de cada tipo de elemento representado, considerando las cargas de su peso propio sumadas a las cargas del edificio y su ocupación. Dichas consideraciones permitieron obtener datos y resultados que hacen referencia a información verificada en sitio con un rango de mayor aproximación a las condiciones reales del modelo.

Los análisis sísmicos ejecutados permitieron obtener información sobre los modos de vibrar que generan mayor afectación a la estructura. De la misma manera, el cálculo de derivas de piso permitió comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, para poder identificar los elementos que representan un riesgo en caso de un evento sísmico, y que por lo tanto, deben ser considerados en un plan de gestión de riesgos.

La ejecución de la metodología en este caso de estudio y sus procesos, evidencia la correspondencia directa entre la configuración arquitectónica y material de la edificación y su respuesta ante un evento sísmico.

Como se evidencian los datos y gráficos expuestos en este trabajo de investigación, la disposición de dichos elementos estructurales y la desconexión de otros (debido a los diversos procesos de reforma y ampliación) alteran y afectan considerablemente su comportamiento estructural. Al evidenciar esta relación, es posible verificar que las acciones tomadas en etapas de diseño pueden garantizar una mejor respuesta sísmica o al contrario, pueden debilitar la misma.

LINEAMIENTOS PARA PRÓXIMAS INVESTIGACIONES

La aproximación a conceptos y la evaluación de seguridad y desempeño sísmico de edificaciones públicas de uso masivo como esencial, no solo para mantener su funcionalidad sino también para preservar la vida de sus ocupantes en caso de riesgo, recobró relevancia al evaluar este caso de estudio.

Si bien la metodología expuesta en esta investigación responde a un proceso sistemático, es posible que existan variables adicionales que puedan considerarse durante el proceso, alimentando con mayor cantidad de información o datos a las variables expuestas.

Se sugiere aplicar esta metodología a de edificaciones de uso masivo y ocupación pública en la ciudad. Futuras investigaciones pueden apuntar a analizar el estado actual de edificaciones de mayor antigüedad en el contexto local, con la finalidad de conocer las condiciones de su estado actual.

Por este motivo, la aplicación y difusión de esta metodología representa un aporte para la observación de procesos a nivel de análisis estructural y estimación de daños por acciones sísmicas; y su aplicación a otros entornos.



Bibliografía

Aulinas, M., Gisbert, G., & Ortuño, M. (2018). La Tierra, un planeta inquieto. Volcanes y terremotos: por qué se originan, cómo nos afectan y cómo podemos convivir con ellos (Ed. rev. ed.). Barcelona, España: Ediciones de la Universidad de Barcelona.

Ayala , R., Delgadillo, A., & Ferrer, C. (2017). Amenaza sísmica en Latinoamérica. Revista Geográfica Venezolana , 58(2), 259-262. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/regeoven/article/view/11234/21921922357>

Beauval, C., Mariniere, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J., Alvarado, A., . . . Jomard, H. (2017, abril). Distribución de los 2910 terremotos en Ecuador del catálogo BSSA2013 [Mapa]. Recuperado 1 diciembre, 2019, de <https://www.igepn.edu.ec>

Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font, Y., ... Vaca, S. (2013). Un catálogo de terremotos para la evaluación de riesgos sísmicos en Ecuador. Boletín de la Sociedad Sismológica de América, 103(2A), 773-786. <https://doi.org/10.1785/0120120270>

Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font, Y., ... Vaca, S. (2013a). An Earthquake Catalog for Seismic Hazard Assessment in Ecuador. Bulletin of the Seismological Society of America, 103(2A), 773-786. <https://doi.org/10.1785/0120120270>

Benito, B., & Cabañas, L. (1999). Caracterización del movimiento del suelo en ingeniería sísmica. Física de la Tierra, 11(1), 49-79. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE9999110049A/12072>

Castillo, A. (2005). Seismic risk scenarios for buildings in Mérida, Venezuela. Detailed vulnerability assessment for non-engineered housing. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Estructures a l'Arquitectura. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93848?locale-attribute=en>

CENEPRED. (2017). Manual para la Evaluación del Riesgo por sismos (Ed. rev. ed.). Recuperado de https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf

Crisafulli, F. (2002). Espectros de Respuesta y Diseño (1.a ed.). Recuperado de <http://fing.uncu.edu.ar/catedras/sismoresistente/ISR-Espectros-2016.pdf>

De la Colina, J., & Ramírez de Alba, H. (1999). Características de los sismos y sus efectos en las construcciones. Ciencia ergo-sum, 6(1), 83-89. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5139925>

Desena, D. (2016a). Metodología para la obtención de espectro sísmicos de piso. Recuperado de http://oa.upm.es/44799/1/Tesis_master_Daniel_Desena_Galarza.pdf

Domínguez, M. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 8(2), 1-13. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193932724001>

Eguez, A., & Guarderas, F. (2018). Fallas activas sismogénicas en el sur del Ecuador. Revista Oro y Petróleo Internacional 2018, (23), 10-13. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339001114_Fallas_activas_sismogenicas_en_el_sur_del_Ecuador

Giner, J., & Molina, S. (2001). Sismicidad y Riesgo sísmico en la C.A.V (Ed. rev. ed.). Alicante, España: Editorial Club Universitario.



- ¹³⁴Gutiérrez, N. (2013). Zonas de seguridad - Espacios para salvaguardar vidas. HSEC Prevención De Riesgos, Seguridad Industrial Y Salud Ocupacional, (1), 1. Recuperado de <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=224>
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2016, abril). Informe técnico del sismo de Pedernales (13). Recuperado de <https://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos/sismicos-especiales/sism-e-2016/14680-informe-especial-n-13-2016/file>
- Jiménez, J. (2002). Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Cuenca mediante técnicas de simulación. Recuperado de https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=44990&cshelbrowse_itemnumber=63308
- Jiménez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Tenorio, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto. MASKANA, 9(1), 59-78. Recuperado de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec>
- Lavell, A., Narváez, L., & Pérez Ortega, G. (2009). La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos (1.a ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/PROCESOS_ok.pdf
- Lawrence, G. (1906). Vista aérea de la ciudad de San Francisco, 1906 [Fotografía]. Recuperado de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/events/1906calif/18april/images/sf06.city.html>
- Maldonado, E., Gómez Araujo, I. D., & Chio Cho, G. (2008). Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico. Ingeniería e Investigación, 28(3), 28-40. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64328305>
- Mélice, J., & Reason, C. (2007). Return period of extreme rainfall at George, South Africa. South African Journal of Science 1, 103, 499-501. Recuperado de http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S0038-23532007000600014&script=sci_abstract&tlng=en
- Mena, U. (2002). Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93534/01INDICE.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2019). Manual para la Regulación de Procesos Constructivos: Enfoque en construcciones sismorresistentes (Ed. rev.). Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Manual-para-la-Regulacion-de-Procesos-Constructivos.pdf>
- Museo Geológico - Ministerio de Chile. (s.f.). ¿Cómo se originan los Terremotos? Recuperado 12 diciembre, 2019, de https://www.sernageomin.cl/Museo_Geologico/terremotos/losTerremotos.html
- Parra, H., Benito, M., Gaspar, J., Fernández, A., Luna, M., & Molina, X. (2018). Estimación de la peligrosidad sísmica en Ecuador continental - Publicaciones científicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/ProyectoPrevencion.pdf>
- Pennington, W. (1981). Subducción de la cuenca del este de Panamá y sismotectónica del noroeste de Sudamérica. Subduction of the Eastern Panama Basin and Seismotectonics of Northwestern South America, 86(B11), 10753-10770. <https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10753>
- Posadas, A., & Vidal, F. (1994). El Estudio de los terremotos en Almería (Ed. rev. ed.). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2767747>
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. Revista de Ingeniería Sísmica, 94
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador (1.a ed.). Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.
- Rodriguez, F. (1992). La geografía y la historia de los sismos. Cuadernos críticos de geografía humana, (97). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/geo97.htm>
- Rodriguez, M. (2009). Tectónica de Placas. In Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura (Ed.), Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos, Volumen 2 (Ed. rev., pp. 114-132). Recuperado de https://www.academia.edu/38720541/CAPITULO_6_TECT%C3%93NICA_DE_PLACAS_Miroslav_Rodr%C3%ADguez
- Safina, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico (Revisado ed.). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93538>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2014). Marco de referencia conceptual sobre vulnerabilidad territorial (Ed. rev. ed.). Quito, Ecuador: CMYK.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016, mayo). Informe de situación Terremoto 7.8 Pedernales (65). Recuperado de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2010). Guía Institucional de Gestión de Riesgos 2010 (p. 54). Quito. Recuperado de https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan_de_Emergencia_Institucional.pdf
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2014). Marco de referencia conceptual sobre vulnerabilidad territorial (Ed. rev.). Quito, Ecuador: CMYK.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de situación N°65 - 16/05/2016 Terremoto 7.8 ° - Pedernales (pp. 15-16). Recuperado de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>
- Taipe, L. (2013). Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>



¹³⁶Vera, B. (2003). Evaluación de errores de datos sísmológicos y sus efectos sobre los parámetros y modelos derivados de estos para una región determinada cubierta por la red del Observatorio Sísmológico del SurOccidente - OSSO. Recuperado de <https://osso.org.co/docu/tesis/2003/evaluacion/indice.pdf>

Viracucha, E., & de la Bastida, J. (2014). Sistema Informático para el Procesamiento y Análisis de Señales Sísmicas de Volcanes en el Ecuador. Revista Politécnica, 33(2). Recuperado de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/146/pdf

Vizconde, A. (2004, abril). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel de Piura [Tesis]. Recuperado 26 enero, 2020, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1367/ICI_120.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Yépez, F. (1996). “Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Barcelona. España.



Anexo 1.1 Tabla de levantamiento de columnas Planta Baja Nivel +-0,00

Columnas Planta Baja Nivel +0,00							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
1	35,00	34,50	34,75	35,2	Grupo 1	No	No aplica
2	44,00	44,40	44,20	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
3	44,40	44,60	44,50	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
4	44,00	44,50	44,25	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
5	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
6	44,00	45,00	44,50	44,2	Grupo 5	Si	No aplica
8	35,00	34,80	34,90	35,2	Grupo 1	No	No aplica
9	35,00	35,60	35,30	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
10	41,50	39,40	40,45	41,0	Grupo 4	No	No aplica
11	34,10	35,40	34,75	35,2	Grupo 1	Si	No aplica
12	41,50	39,40	40,45	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
13	37,20	38,70	37,95	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
14	35,00	35,00	35,00	35,2	Grupo 1	No	No aplica
15	35,70	35,70	35,70	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
16	44,50	43,70	44,10	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
17	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No aplica
18	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No aplica
19	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
20	40,00	40,00	40,00	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
21	38,50	38,50	38,50	39,1	Grupo 3	Si	No aplica
22	36,60	40,00	38,30	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
23	35,00	35,00	35,00	35,2	Grupo 1	No	No aplica
24	39,50	39,50	39,50	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
25	34,80	35,60	35,20	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
26	1240,00		38,96	38,5	Grupo 11	No	No aplica
27	1252,00		39,33	39,4	Grupo 12	No	No aplica
28	38,80	39,30	39,05	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
29	40,70	35,50	---	37,5	Grupo 2	No	No aplica
30	40,00	35,50	37,75	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
31	40,00	35,50	37,75	37,5	Grupo 2	No	No aplica
32	43,50	43,00	43,25	44,2	Grupo 5	Si	No aplica
33	43,00	34,50	---	43x34	Grupo 7	Si	Aplica
34	1230,00		38,64	38,5	Grupo 11	No	No aplica

Columnas Planta Baja Nivel +0,00							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
35	39,00	38,80	38,90	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
36	38,00	36,00	37,00	37,5	Grupo 2A	Si	No aplica
37	38,00	36,10	37,05	37,5	Grupo 2A	Si	No aplica
38	38,00	36,10	37,05	37,5	Grupo 2A	Si	No aplica
39	40,00	40,00	40,00	41,0	Grupo 4	No	No aplica
40	37,70	36,40	37,05	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
41	37,30	38,70	38,00	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
42	33,00	48,80	---	41,0	Grupo 4	No	No aplica
43	39,10	35,70	37,40	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
44	38,30	35,80	37,05	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
45	38,90	36,00	37,45	37,5	Grupo 2	Si	Aplica
46	1240,00		38,96	39,4	Grupo 12	No	No aplica
47	1234,00		38,77	38,5	Grupo 11	No	No aplica
48	1208,00		37,95	38,5	Grupo 11	No	No aplica
49	36,00	40,00	38,00	39,1	Grupo 3	Si	No aplica
50	30,00	38,00	---	32x38	Grupo 6	Si	Aplica
51	34,00	39,00	---	32x38	Grupo 6	Si	No aplica
52	39,00	38,70	38,85	39,1	Grupo 3	No	No aplica
53	1236,00		38,83	38,5	Grupo 11	Si	No aplica
54	40,40	37,10	38,75	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
55	40,00	38,90	39,45	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
56	1234,00		38,77	38,5	Grupo 11	No	No aplica
57	1236,00		38,83	38,5	Grupo 11	No	No aplica
58	39,10	39,10	39,10	39,1	Grupo 3	Si	No aplica
59	40,00	37,40	38,70	39,1	Grupo 3	Si	No aplica
60	40,00	38,30	39,15	39,1	Grupo 3	Si	Aplica
61	1244,00		39,08	39,4	Grupo 12	No	No aplica
62	1312,00		41,22	39,4	Grupo 12	No	No aplica
63	42,20	39,20	40,70	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
64	42,10	41,90	42,00	41,0	Grupo 4	Si	Aplica
65	36,60	38,80	37,70	37,5	Grupo 2A	Si	Aplica
66	115,00	42,70	---	100x42	Grupo 10	Si	No aplica
67	35,30	34,70	35,00	35,2	Grupo 1	Si	Aplica

Columnas Planta Baja Nivel +0,00							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
68	35,20	34,70	34,95	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
69	34,80	35,40	35,10	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
70	35,30	34,70	35,00	35,2	Grupo 1	Si	Aplica
71	1256,00		40,00	39,4	Grupo 12	No	No aplica
72	93,00	35,00	---	100x42	Grupo 10	Si	No aplica
73	100,00	44,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
74	102,00	43,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
75	104,00	43,00	---	100x42	Grupo 10	Si	Aplica
76	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
77	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	No aplica
78	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
79	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	No aplica
80	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
81	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	No aplica
82	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica
83	80,00	30,00	---	80x30	Grupo 9	Si	Aplica

Anexos



Anexo 1.2 Tabla de levantamiento de columnas Primera Planta Alta Nivel +3,80 + Estantería Cerrada Nivel +5,57

140

Columnas 1era Planta Alta Nivel +3,80							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
101	35,00	34,50	34,75	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
102	44,00	44,40	44,20	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
103	44,40	44,60	44,50	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
104	44,00	44,50	44,25	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
105	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
106	44,00	45,00	44,50	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
107	35,00	34,80	34,90	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
108	35,00	35,60	35,30	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
109	35,00	35,00	35,00	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
110	35,70	35,70	35,70	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
111	44,50	43,70	44,10	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
112	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
113	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	Aplica
114	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
115	40,00	40,00	40,00	41,0	Grupo 4	Si	No Aplica
116	35,00	35,00	35,00	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
117	39,50	39,50	39,50	39,1	Grupo 3	Si	No Aplica
118	34,80	35,60	35,20	35,2	Grupo 1	Si	No Aplica
119	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
120	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
121	51,60	25,20		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
122	28,20	68,30		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
123	27,60	66,90		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
124	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
125	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
126	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica

Columnas 1era Planta Alta Nivel +3,80							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
127	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
128	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
129	51,30	24,80		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
130	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
131	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
132	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
133	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
134	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
135	33,00	48,80	40,90	41,0	Grupo 4	Si	No Aplica
136	39,10	35,70	37,40	37,5	Grupo 2	Si	No Aplica
137	38,30	35,80	37,05	37,5	Grupo 2	Si	No Aplica
138	38,90	36,00	37,45	37,5	Grupo 2	Si	No Aplica
139	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
140	69,50				Grupo 16	Si	No Aplica
141	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
142	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
143	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
144	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	Aplica
145	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
146	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
147	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
148	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
149	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
150	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
151	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
152	52,00	24,00		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica

Columnas 1era Planta Alta Nivel +3,80 / Estantería Cerrada							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
153	51,60	25,20		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
154	28,20	68,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
155	27,60	66,90		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
156	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
157	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
158	52,50	25,00			Grupo 14	No	No Aplica
159	51,30	24,80		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
160	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
161	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
162	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
163	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
164	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
165	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
166	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
167	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
168	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
169	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	No	No Aplica
170	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
171	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
172	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
173	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
174	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
175	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	No	No Aplica
176	52,00	24,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica

Anexo 1.3 Tabla de levantamiento de columnas Segunda Planta Alta Nivel +7,60

Columnas 2da Planta Alta Nivel +7,60							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
201	60,00				Grupo 17	No	No Aplica
202	60,00				Grupo 17	No	No Aplica
203	44,00	44,40	44,20	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
204	44,40	44,60	44,50	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
205	44,00	44,50	44,25	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
206	44,00		44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
207	44,00	45,00	44,50	44,2	Grupo 5	No	No Aplica
208	60,00				Grupo 17	No	No Aplica
209	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
210	60,00				Grupo 17	No	No Aplica
211	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
212	44,50	43,70	44,10	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
213	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
214	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
215	44,00	44,00	44,00	44,2	Grupo 5	Si	No Aplica
216	40,00	40,00	40,00	41,0	Grupo 4	Si	No Aplica
217	60,00				Grupo 17	No	No Aplica
218	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
219	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
220	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
221	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
222	51,60	25,20		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
223	28,20	68,30		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
224	27,60	66,90		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
225	29,00	67,30		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
226	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	No Aplica
227	52,50	25,00			Grupo 14	Si	No Aplica
228	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
229	69,50				Grupo 16	No	No Aplica
230	51,30	24,80		52,5x25	Grupo 14	Si	No Aplica
231	38,30	24,80		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
232	37,80	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
233	39,00	24,60		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica
234	39,00	24,70		38,5x24,7	Grupo 13	Si	No Aplica

141



Anexo 1.4 Tabla de levantamiento de columnas Tercera Planta Alta Nivel +7,60

142

Columnas 3era Planta Alta Nivel +11,40							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
301	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
302	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
303	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
304	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
305	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
306	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
307	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
308	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
309	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
310	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
311	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
312	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
313	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
314	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
315	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
316	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
317	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
318	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
319	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
320	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
321	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
322	22,00	---	---	69,50	Grupo 16	No	No Aplica
323	51,60			52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
324	28,20			28x68	Grupo 15	No	No Aplica
325	27,60			28x68	Grupo 15	No	No Aplica
326	29,00			28x68	Grupo 15	No	No Aplica
327	28,00			28x68	Grupo 15	No	No Aplica
328	52,50			52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
329	51,30			52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica
330	10,00			10,00	Grupo 18	No	No Aplica
331	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
332	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
333	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
334	52,50	25,00		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica

Columnas 3era Planta Alta Nivel +11,40							
#	y	x	Promedio	Media	Grupo	Apta para Ensayo	Ensayo
335	52,40	24,00		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
336	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
337	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
338	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
339	10,00	10,00		10,00	Grupo 18	No	No Aplica
340	52,00	24,70		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
341	24,20	51,80		52,5x25	Grupo 14	Si	Aplica
342	24,50	69,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
343	24,40	66,70		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
344	26,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
345	28,00	68,00		28x68	Grupo 15	Si	Aplica
346	52,00	24,00		52,5x25	Grupo 14	No	No Aplica

Anexo 2.1 Tabla de ensayos esclerométricos aplicados a columnas Nivel +-0,00

Ensayo 1		
Elemento	69	
Grupo 1		
Lecturas	V	
1	28	
2	26	
3	25	
4	24	
5	25	
6	26	
7	24	
8	29	
9	24	
10	27	
Media	26	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 2		
Elemento	68	
Grupo 1		
Lecturas	V	
1	24	
2	24	
3	20	
4	22	
5	25	
6	27	
7	24	
8	24	
9	23	
10	20	
Media	23	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 3		
Elemento	67	
Grupo 1		
Lecturas	V	
1	25	
2	28	
3	26	
4	24	
5	27	
6	26	
7	25	
8	26	
9	26	
10	28	
Media	26	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 4		
Elemento	70	
Grupo 1		
Lecturas	V	
1	24	
2	26	
3	27	
4	20	
5	20	
6	23	
7	23	
8	23	
9	26	
10	29	
Media	24	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 5		
Elemento	64	
Grupo 4		
Lecturas	V	
1	28	
2	27	
3	28	
4	26	
5	25	
6	23	
7	20	
8	19	
9	18	
10	23	
Media	24	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 6		
Elemento	63	
Grupo 4		
Lecturas	V	
1	24	
2	24	
3	23	
4	23	
5	26	
6	23	
7	22	
8	22	
9	26	
10	21	
Media	23	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 7		
Elemento	74	
Grupo 10		
Lecturas	V	
1	24	
2	24	
3	21	
4	23	
5	21	
6	22	
7	19	
8	21	
9	20	
10	23	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 8		
Elemento	73	
Grupo 10		
Lecturas	V	
1	24	
2	23	
3	27	
4	25	
5	27	
6	25	
7	23	
8	24	
9	26	
10	22	
Media	25	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 9		
Elemento	75	
Grupo 10		
Lecturas	V	
1	22	
2	28	
3	24	
4	25	
5	24	
6	28	
7	24	
8	24	
9	23	
10	27	
Media	25	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 10		
Elemento	83	
Grupo 9		
Lecturas	V	
1	21	
2	22	
3	22	
4	22	
5	20	
6	20	
7	23	
8	21	
9	20	
10	23	
Media	21	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 11		
Elemento	82	
Grupo 9		
Lecturas	V	
1	20	
2	19	
3	23	
4	18	
5	24	
6	22	
7	22	
8	22	
9	24	
10	23	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 12		
Elemento	80	
Grupo 9		
Lecturas	V	
1	24	
2	21	
3	25	
4	22	
5	21	
6	19	
7	24	
8	21	
9	22	
10	24	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 13		
Elemento	78	
Grupo 9		
Lecturas	V	
1	23	
2	21	
3	23	
4	23	
5	24	
6	23	
7	22	
8	22	
9	20	
10	24	
Media	23	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 14		
Elemento	76	
Grupo 9		
Lecturas	V	
1	23	
2	24	
3	19	
4	19	
5	20	
6	21	
7	21	
8	20	
9	18	
10	17	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		



144

Ensayo 15		
Elemento	2	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	29	
2	30	
3	31	
4	29	
5	30	
6	29	
7	31	
8	29	
9	30	
10	30	
Media	30	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 16		
Elemento	3	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	30	
2	29	
3	29	
4	29	
5	30	
6	29	
7	29	
8	29	
9	27	
10	27	
Media	29	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 17		
Elemento	4	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	32	
2	30	
3	35	
4	34	
5	34	
6	32	
7	31	
8	31	
9	31	
10	34	
Media	32	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 18		
Elemento	5	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	30	
2	32	
3	30	
4	29	
5	28	
6	29	
7	29	
8	32	
9	27	
10	32	
Media	30	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 19		
Elemento	16	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	36	
2	37	
3	33	
4	34	
5	29	
6	39	
7	26	
8	33	
9	28	
10	36	
Media	33	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 20		
Elemento	19	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	23	
2	27	
3	22	
4	26	
5	20	
6	26	
7	25	
8	23	
9	25	
10	29	
Media	25	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 21		
Elemento	9	
Grupo 1		
Lecturas		V
1	19	
2	20	
3	20	
4	22	
5	19	
6	21	
7	20	
8	20	
9	19	
10	20	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 29		
Elemento	41	
Grupo 2A		
Lecturas		V
1	28	
2	27	
3	29	
4	28	
5	28	
6	26	
7	30	
8	28	
9	28	
10	29	
Media	28	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 30		
Elemento	65	
Grupo 2A		
Lecturas		V
1	29	
2	34	
3	30	
4	29	
5	36	
6	33	
7	36	
8	33	
9	27	
10	26	
Media	31	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 31		
Elemento	24	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	29	
2	28	
3	30	
4	30	
5	30	
6	29	
7	22	
8	30	
9	31	
10	29	
Media	29	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 32		
Elemento	28	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	20	
2	19	
3	21	
4	22	
5	22	
6	20	
7	20	
8	21	
9	22	
10	19	
Media	21	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 33		
Elemento	35	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	19	
2	24	
3	21	
4	23	
5	21	
6	21	
7	21	
8	20	
9	23	
10	24	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 34		
Elemento	54	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	24	
2	23	
3	25	
4	26	
5	19	
6	21	
7	20	
8	20	
9	21	
10	23	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 35		
Elemento	55	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	24	
2	23	
3	23	
4	23	
5	23	
6	23	
7	24	
8	24	
9	23	
10	22	
Media	23	○
ENSAYO VÁLIDO		

145

Ensayo 22		
Elemento	15	
Grupo 1		
Lecturas		V
1	21	
2	18	
3	18	
4	20	
5	20	
6	20	
7	24	
8	20	
9	19	
10	19	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 23		
Elemento	25	
Grupo 1		
Lecturas		V
1	23	
2	23	
3	23	
4	20	
5	21	
6	21	
7	21	
8	20	
9	20	
10	21	
Media	21	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 24		
Elemento	43	
Grupo 2		
Lecturas		V
1	20	
2	21	
3	21	
4	22	
5	22	
6	22	
7	21	
8	22	
9	21	
10	23	
Media	22	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 25		
Elemento	44	
Grupo 2		
Lecturas		V
1	20	
2	20	
3	21	
4	21	
5	21	
6	20	
7	19	
8	20	
9	19	
10	17	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 26		
Elemento	45	
Grupo 2		
Lecturas		V
1	20	
2	20	
3	19	
4	21	
5	19	
6	23	
7	19	
8	20	
9	19	
10	19	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 27		
Elemento	13	
Grupo 2A		
Lecturas		V
1	29	
2	27	
3	21	
4	27	
5	27	
6	27	
7	26	
8	25	
9	27	
10	27	
Media	26	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 28		
Elemento	40	
Grupo 2A		
Lecturas		V
1	31	
2	30	
3	35	
4	29	
5	34	
6	34	
7	35	
8	33	
9	35	
10	35	
Media	33	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 36		
Elemento	22	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	29	
2	29	
3	34	
4	31	
5	38	
6	34	
7	36	
8	35	
9	34	
10	38	
Media	34	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 37		
Elemento	60	
Grupo 3		
Lecturas		V
1	30	
2	25	
3	28	
4	29	
5	32	
6	26	
7	30	
8	29	
9	34	
10	28	
Media	29	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 38		
Elemento	12	
Grupo 4		
Lecturas		V
1	35	
2	33	
3	39	
4	38	
5	33	
6	33	
7	32	
8	32	
9	34	
10	33	
Media	34	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 39		
Elemento	20	
Grupo 4		
Lecturas		V
1	37	
2	43	
3	43	
4	40	
5	39	
6	38	
7	38	
8	39	
9	37	
10	36	
Media	39	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 40		
Elemento	33	
Grupo 7		
Lecturas		V
1	20	
2	19	
3	20	
4	18	
5	19	
6	17	
7	19	
8	17	
9	18	
10	16	
Media	18	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 41		
Elemento	50	
Grupo 6		
Lecturas		V
1	33	
2	30	
3	35	
4	28	
5	31	
6	29	
7	29	
8	31	
9	26	
10	25	
Media	30	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 42		
Elemento	30	
Grupo 2A		
Lecturas		V
1	36	
2	36	
3	38	
4	29	
5	34	
6	36	
7	36	
8	38	
9	33	
10	32	
Media	35	○
ENSAYO VÁLIDO		



Anexo 2.2 Tabla de ensayos esclerométricos aplicados a columnas Nivel +3,80

146

Ensayo 43		
Elemento	130	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	31	
2	32	
3	26	
4	35	
5	32	
6	32	
7	33	
8	34	
9	34	
10	39	!
Media	33	1
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 44		
Elemento	142	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	30	
2	30	
3	32	
4	32	
5	34	
6	38	
7	38	
8	32	
9	35	
10	30	
Media	33	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 45		
Elemento	143	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	40	
2	35	
3	28	
4	33	
5	31	
6	36	
7	39	
8	39	
9	36	
10	34	
Media	35	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 46		
Elemento	144	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	27	
2	29	
3	28	
4	26	
5	31	
6	32	
7	35	
8	35	
9	33	
10	33	
Media	31	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 47		
Elemento	131	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	24	
2	22	
3	31	
4	34	
5	37	!
6	32	
7	30	
8	31	
9	30	
10	29	
Media	30	1
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 47		
Elemento	133	
Grupo 13		
Lecturas		V
1	34	
2	32	
3	35	
4	36	
5	34	
6	40	
7	37	
8	37	
9	34	
10	34	
Media	35	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 48		
Elemento	113	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	20	
2	20	
3	21	
4	19	
5	19	
6	18	
7	20	
8	22	
9	22	
10	23	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 49		
Elemento	124	
Grupo 15		
Lecturas		V
1	36	
2	36	
3	30	
4	31	
5	33	
6	34	
7	32	
8	31	
9	32	
10	32	
Media	33	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 50		
Elemento	111	
Grupo 5		
Lecturas		V
1	20	
2	20	
3	19	
4	20	
5	20	
6	20	
7	19	
8	21	
9	20	
10	20	
Media	20	○
ENSAYO VÁLIDO		

Anexo 2.3 Tabla de ensayos esclerométricos aplicados a columnas Nivel +7,60

147

Ensayo 52		
Elemento	344	
Grupo 15		
Lecturas		V
1	30	
2	29	
3	33	
4	33	
5	32	
6	33	
7	28	
8	30	
9	30	
10	32	
Media	31	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 53		
Elemento	343	
Grupo 15		
Lecturas		V
1	31	
2	32	
3	33	
4	27	!
5	35	
6	33	
7	35	
8	30	
9	33	
10	37	
Media	33	1
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 54		
Elemento	341	
Grupo 14		
Lecturas		V
1	35	
2	34	
3	37	
4	39	
5	36	
6	35	
7	29	
8	32	
9	29	
10	33	
Media	34	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 55		
Elemento	342	
Grupo 15		
Lecturas		V
1	27	
2	29	
3	30	
4	28	
5	29	
6	31	
7	30	
8	30	
9	28	
10	29	
Media	29	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 56		
Elemento	345	
Grupo 15		
Lecturas		V
1	31	
2	27	
3	42	!
4	30	
5	30	
6	29	
7	32	
8	28	
9	32	
10	31	
Media	31	1
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 57		
Elemento	329	
Grupo 14		
Lecturas		V
1	25	
2	30	
3	31	
4	30	
5	39	
6	34	
7	41	!
8	37	
9	37	
10	33	
Media	34	1
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 58		
Elemento	340	
Grupo 14		
Lecturas		V
1	33	
2	35	
3	33	
4	36	
5	28	
6	38	
7	37	
8	32	
9	36	
10	33	
Media	34	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 59		
Elemento	334	
Grupo 14		
Lecturas		V
1	33	
2	38	
3	37	
4	35	
5	34	
6	38	
7	36	
8	37	
9	37	
10	33	
Media	36	○
ENSAYO VÁLIDO		

Ensayo 60		
Elemento	335	
Grupo 14		
Lecturas		V
1	36	
2	38	
3	35	
4	38	
5	36	
6	34	
7	33	
8	36	
9	35	
10	34	
Media	36	○
ENSAYO VÁLIDO		



Anexo 3.1 *Tabla de ensayos esclerométricos aplicados a columnas Nivel +3,80*

148

Cálculo de Resistencia de Elementos - Planta Baja Nivel +0,00						
Ensayo	Grupo de Elemento	Elemento	Media del Número de Rebote	Resistencia (N/mm2) (MPa)	Media de Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
21	Grupo 1	9	20	10,8	12,6	16,7
22	Grupo 1	15	20	10,8		
25	Grupo 1	25	21	10,8		
3	Grupo 1	67	26	15,5		
2	Grupo 1	68	23	11,8		
1	Grupo 1	69	26	15,5	21,4	21,7
4	Grupo 1	70	24	12,7		
27	Grupo 2A	13	26	15,5		
42	Grupo 2A	30	35	27,5		
28	Grupo 2A	40	33	24,5		
29	Grupo 2A	41	28	17,7	10,8	15,4
30	Grupo 2A	65	31	21,6		
24	Grupo 2	43	22	10,8		
25	Grupo 2	44	20	10,8	15,3	18,4
26	Grupo 2	45	20	10,8		
36	Grupo 3	22	34	25,5		
31	Grupo 3	24	29	18,6		
32	Grupo 3	28	21	10,8		
33	Grupo 3	35	22	10,8		
34	Grupo 3	54	22	10,8		
35	Grupo 3	55	23	11,8		
37	Grupo 3	60	29	18,6		

Cálculo de Resistencia de Elementos - Planta Baja Nivel +0,00						
Ensayo	Grupo de Elemento	Elemento	Media del Número de Rebote	Resistencia (N/mm2) (MPa)	Media de Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
38	Grupo 4	12	34	25,5	20,8	21,4
39	Grupo 4	20	39	33,3		
6	Grupo 4	63	23	11,8		
5	Grupo 4	64	24	12,7		
15	Grupo 5	2	30	20,6		
16	Grupo 5	3	29	18,6	21,4	21,7
17	Grupo 5	4	32	23,3		
18	Grupo 5	5	30	20,6		
19	Grupo 5	16	33	20,6		
20	Grupo 5	19	25	24,5		
41	Grupo 6	50	30	20,6	20,6	21,3
40	Grupo 7	33	18	18,6	18,6	20,3
14	Grupo 9	76	20	10,8	11,0	15,6
13	Grupo 9	78	23	11,8		
12	Grupo 9	80	22	10,8		
11	Grupo 9	82	22	10,8		
10	Grupo 9	83	21	10,8	12,7	16,8
8	Grupo 10	73	25	13,7		
7	Grupo 10	74	22	10,8		
9	Grupo 10	75	25	13,7		

Anexo 3.2 *Tabla de ensayos esclerométricos aplicados a columnas Nivel +3,80 y Nivel +11,40*

Cálculo de Resistencia de Elementos - Primera Planta Alta +3,80						
Ensayo	Grupo de Elemento	Elemento	Media del Número de Rebote	Resistencia (N/mm2) (MPa)	Media de Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
51	Grupo 5	102	33	24,5	15,4	18,4
48	Grupo 5	113	20	10,8		
50	Grupo 5	111	20	10,8		
43	Grupo 13	130	33	24,5	25,1	23,6
47	Grupo 13	133	35	27,5		
44	Grupo 13	142	33	24,5		
45	Grupo 13	143	35	27,5		
46	Grupo 13	144	31	21,6	11,8	16,1
49	Grupo 15	124	33	11,8		

Cálculo de Resistencia de Elementos - Tercera Planta Alta Nivel +11,40						
Ensayo	Grupo de Elemento	Elemento	Media del Número de Rebote	Resistencia (N/mm2) (MPa)	Media de Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)
55	Grupo 14	334	36	28,4	26,7	24,3
57	Grupo 14	329	34	25,5		
60	Grupo 14	335	36	28,4		
58	Grupo 14	340	34	25,5	21,6	21,8
54	Grupo 14	341	34	25,5		
55	Grupo 15	342	29	18,6		
53	Grupo 15	343	33	24,5		
52	Grupo 15	344	31	21,6		
56	Grupo 15	345	31	21,6		

149

